

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΕΝΤΕ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ
ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ

Αικατερίνη Δ. Αγγελοπούλου

Μεταπτυχιακή διατριβή που υποβλήθηκε στο Πρόγραμμα μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας ως μερική υποχρέωση για την λήψη του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην κατεύθυνση « Γεωργική Μηχανική – Διαχείριση Φυσικών Πόρων »

ΝΕΑ ΙΩΝΙΑ 2004



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.:	4189/1
Ημερ. Εισ.:	14-12-2004
Δωρεά:	Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός:	Δ
	633.638 072
	ΑΓΓ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΕΝΤΕ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ
ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ

Αικατερίνη Δ. Αγγελοπούλου

Εξεταστική επιτροπή

Γέμτος Θ.
Αν. Καθηγητής Π.Θ.
Επιβλέπων

Τσατσαρέλης Κ.
Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μέλος

Σιδηράς Ν.
Καθηγητής Γ.Π.Α.
Μέλος

Περίληψη

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η μακροχρόνια επίδραση πέντε μεθόδων κατεργασίας του εδάφους στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και στην καλλιέργεια των ζαχαροτεύτλων. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε ένα πείραμα που εγκαταστάθηκε πριν από επτά έτη στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο συνεχίζεται μέχρι σήμερα.

Οι μέθοδοι κατεργασίας που μελετήθηκαν ήταν : 1) συμβατική κατεργασία με όργωμα σε βάθος 25-30 cm, 2) μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή σε βάθος 20-25 cm, 3) μειωμένη κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα σε βάθος 10-12 cm, 4) μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα σε βάθος 7-8 cm και 5) ακαλλιέργεια με απ' ευθείας σπορά σε ακαλλιέργητο έδαφος και καταστροφή της υπάρχουσας βλάστησης με glyphosate.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις που αφορούσαν α) την ξηρή φαινομενική πυκνότητα του εδάφους, β) την αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση γ) την αντοχή του εδάφους στη διάτμηση δ) τον πληθυσμό και τη βιομάζα των γαιοσκωλήκων ε) το φύτρωμα και στ) την απόδοση των ζαχαροτεύτλων.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι έδαφος στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας παρουσίασε αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα και αυξημένη αντίσταση στη διείσδυση. Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν στην ακαλλιέργεια και ακολουθούσαν οι μέθοδοι της δισκοσβάρνας και του περιστροφικού σκαπτικού, ενώ ο βαρύς καλλιεργητής πλησίαζε τις τιμές της συμβατικής κατεργασίας, προκαλώντας παραπλήσια χαλάρωση στο έδαφος με το άροτρο.

Οι μεγαλύτεροι πληθυσμοί των γαιοσκωλήκων παρατηρήθηκαν στην ακαλλιέργεια λόγω της μηδενικής ανατάραξης του εδάφους και λόγω της ύπαρξης άφθονων φυτικών υπολειμμάτων που πρόσφεραν τροφή στους γαιοσκώληκες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αντίθετα οι μικρότεροι πληθυσμοί παρατηρήθηκαν στην συμβατική κατεργασία που ήταν η πιο εντατική μέθοδος κατεργασίας. Στις υπόλοιπες μεθόδους κατεργασίας οι πληθυσμοί είχαν ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στην ακαλλιέργεια και την συμβατική κατεργασία.

Το φύτρωμα ήταν ικανοποιητικό για όλες τις μεθόδους κατεργασίας και δεν αποτέλεσε πρόβλημα για την περαιτέρω ανάπτυξη των καλλιεργειών. Το υψηλότερο

ποσοστό φυτρώματος των τεύτλων διαπιστώθηκε στην μέθοδο του βαρύ καλλιεργητή με ποσοστό 55,2% και ακολουθούσαν οι μέθοδοι της συμβατικής κατεργασίας με 49,3%, της δισκοσβάρνας με 47,9%, του περιστροφικού σκαπτικού με 45,1% και της ακαλλιέργειας με 44%.

Η απόδοση των ζαχαροτεύτλων στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας ήταν μειωμένη σε σχέση με την συμβατική κατεργασία. Στην κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή διαπιστώθηκε μια μικρή μείωση της απόδοσης της τάξης του 3,7%. Στις υπόλοιπες μεθόδους όμως η μείωση της απόδοσης ήταν σημαντική. Στην κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό η απόδοση ήταν μειωμένη κατά 25,7%, με δισκοσβάρνα 23,2%, και στην ακαλλιέργεια 27,1%. Οι αιτίες που προκάλεσαν μείωση των αποδόσεων στις μεθόδους αυτές ήταν 1) η συνεκτικότητα του εδάφους το οποίο παρουσίαζε αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα και αντίσταση στη διείσδυση και 2) ο ανταγωνισμός από τα ζιζάνια.

Από τις μεθόδους της μειωμένης κατεργασίας η κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή είχε την μεγαλύτερη απόδοση, είχε τους μεγαλύτερους πληθυσμούς γαιοσκωλήκων και πέτυχε ικανοποιητική χαλάρωση στο έδαφος προσεγγίζοντας τη χαλάρωση που προκαλεί το άροτρο. Τα στοιχεία αυτά δείχνουν ότι ο βαρύς καλλιεργητής θα μπορούσε σε πρώτη φάση να αντικαταστήσει το άροτρο μέχρι να αυξηθεί η οργανική ουσία, να ενισχυθεί η βιολογική δραστηριότητα και γενικώς να δημιουργηθεί μια καλή δομή στο έδαφος. Στη συνέχεια θα μπορούσε να εφαρμοστεί η ακαλλιέργεια και συστήματα μειωμένης κατεργασίας στα πλαίσια της αειφορικής διαχείρισης του εδάφους και σε μια προσπάθεια να μειωθεί το κόστος παραγωγής.

Ευχαριστίες

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω ολόψυχα τον καθηγητή μου κ. Θεοφάνη Γέμτο που με την πολύτιμη καθοδήγηση του κατάφερα να ολοκληρώσω την μεταπτυχιακή μου διατριβή.

Επιπλέον εκφράζω τις ευχαριστίες μου στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Τσατσαρέλη και καθηγητή κ. Νικόλαο Σιδηρά για την κριτική ανάγνωση του κειμένου και τις χρήσιμες διορθώσεις της εργασίας μου.

Ευχαριστώ επίσης την κ. Ευαγγελία Βαβουλίδου, ερευνήτρια στο ΕΘΙΑΓΕ για την πολύτιμη συμβολή της στο κομμάτι της έρευνας που αφορούσε τους γαιοσκώληκες.

Ευχαριστώ θερμά τους κυρίους Χρήστο Καβαλάρη και Χρήστο Καραμούτη, γεωπόνους τους Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας, οι οποίοι πρόσφεραν την εμπειρία τους και προσωπική βοήθεια στο κομμάτι που αφορούσε τις μετρήσεις στον αγρό και στο εργαστήριο.

Ευχαριστώ επίσης την φίλη μου Κωνσταντία Τριανταφυλλοπούλου για την βοήθειά της στις μετρήσεις στο εργαστήριο.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την για την αμέριστη υποστήριξη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και την συμβολή της στη επίτευξη των στόχων μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	
2.1. Κατεργασία του εδάφους.....	4
2.2. Συστήματα κατεργασίας του εδάφους.....	5
2.3. Επίδραση των συστημάτων κατεργασίας στο έδαφος.....	16
2.4. Επίδραση των συστημάτων κατεργασίας στον πληθυσμό και τη βιομάζα των γαιοσκωλήκων.....	19
2.5. Επίδραση των συστημάτων κατεργασίας στην απόδοση των καλλιεργειών...	23
2.6. Ανακεφαλαίωση και περιγραφή των στόχων του πειράματος.....	28
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	
3.1. Περιγραφή του πειράματος.....	29
3.2. Μηχανήματα κατεργασίας του εδάφους.....	34
3.3 Καλλιεργητικές εργασίες.....	35
3.4. Μετρήσεις	
3.4.1. Ξηρή φαινομενική πυκνότητα.....	38
3.4.2. Αντίσταση στη διείσδυση	42
3.4.3. Αντοχή στη διάτμηση.....	44
3.4.4. Πληθυσμός και βιομάζα γαιοσκωλήκων.....	50
3.4.5. Φύτρωμα.....	51
3.4.6. Απόδοση.....	52
3.5. Στατιστική ανάλυση.....	52
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	
4.1. Ξηρή φαινομενική πυκνότητα.....	53
4.2. Αντίσταση στη διείσδυση.....	58
4.3. Αντοχή στη διάτμηση.....	67
4.4. Πληθυσμός και βιομάζα γαιοσκωλήκων.....	70
4.5. Φύτρωμα.....	74
4.6. Απόδοση.....	76
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έδαφος είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας στην άσκηση της γεωργίας. Είναι ένας μη ανανεώσιμος φυσικός πόρος του οποίου η διατήρηση είναι απαραίτητη προϋπόθεση για διασφάλιση της αγροτικής παραγωγής στο μέλλον. Κατά την γεωργική παραγωγική διαδικασία το έδαφος αλληλεπιδρά με άλλους φυσικούς πόρους που είναι το νερό, ο αέρας, η χλωρίδα και η πανίδα. Η σωστή διαχείριση του εδάφους ελαχιστοποιεί τις αρνητικές επιπτώσεις της γεωργίας στο περιβάλλον.

Η συμβατική κατεργασία του εδάφους ακολουθείται παραδοσιακά από αιώνες και περιλαμβάνει βαθιά πρωτογενή κατεργασία με αναστροφή του εδάφους με άροτρο και δευτερογενή κατεργασία με ελαφρύτερα μηχανήματα για προετοιμασία της σποροκλίνης. Ξεκίνησε από τους πρώτους πολιτισμούς της Μεσοποταμίας και της Αιγύπτου και εξελίχθηκε στην Ελλάδα (Ησιόδειο άροτρο) και στην την Ρωμαϊκή εποχή με την ανάπτυξη του Ρωμαϊκού αρότρου. Στα μέσα του 18^{ου} αιώνα κατασκευάστηκε το πρώτο χυτό άροτρο (mouldboard plough). Στον 20^ο αιώνα είχε μεγάλη ανάπτυξη με την μαζική παραγωγή γεωργικών ελκυστήρων μεγάλης ισχύος. Με την χρήση όμως μεγαλύτερων και βαρύτερων γεωργικών μηχανημάτων προκαλείται συμπίεση του εδάφους. Η συμπίεση αυτή πολλές φορές επεκτείνεται κάτω από το βάθος κατεργασίας και δεν μπορεί να διορθωθεί με την κατεργασία με αποτέλεσμα να περιορίζεται η ανάπτυξη των ριζών των φυτών. Με την αναστροφή του εδάφους από το άροτρο τα φυτικά υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας ενσωματώνονται στο έδαφος. Το έδαφος παραμένει ακάλυπτο και εκτεθειμένο στην δράση της βροχής και του ανέμου. Κάτω από αυτές τις συνθήκες είναι πιθανό να συμβεί διάβρωση του εδάφους ιδιαίτερα στα επικλινή εδάφη. Επιπλέον με την μακροχρόνια εφαρμογή συστημάτων συμβατικής κατεργασίας η οργανική ουσία του εδάφους μειώνεται και αυξάνονται οι εκπομπές του CO₂ στην ατμόσφαιρα (Lal, 1997). Με την διατάραξη του εδάφους που προκαλεί η κατεργασία και με την μείωση της οργανικής ουσίας του εδάφους παρατηρείται επίσης μείωση της βιοποικιλότητας του εδάφους (Kladivko, 2001). Οι οργανισμοί που ζουν στο έδαφος παίζουν σπουδαίο ρόλο στην διατήρηση της δομής και της γονιμότητας του εδάφους. Τέλος η συμβατική κατεργασία είναι ένα σύστημα εντατικής διαχείρισης

του εδάφους που έχει αυξημένες απαιτήσεις σε ενέργεια και σε ανθρώπινη εργασία με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους παραγωγής των γεωργικών προϊόντων.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή της συμβατικής κατεργασίας, τις τελευταίες δεκαετίες αναπτύχθηκαν τα συστήματα που στοχεύουν στην αειφορική διαχείριση του εδάφους. Τα συστήματα αειφορίας περιλαμβάνουν διάφορα συστήματα κατεργασίας όπως είναι η μειωμένη κατεργασία, η ελάχιστη κατεργασία, η ακαλλιέργεια κ.α., που έχουν ως κοινό γνώρισμα την διατήρηση της επιφάνειας του εδάφους καλυμμένης με φυτικά υπολείμματα τουλάχιστον κατά 30% (ASAE EP291.2, 2002). Τα συστήματα αυτά στοχεύουν στη προστασία του εδάφους από την διάβρωση και συμπίεση, στην διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους, στην εξοικονόμηση εδαφικής υγρασίας και στην μείωση του κόστους παραγωγής μέσω του περιορισμού των επεμβάσεων κατεργασίας. Με την εφαρμογή των συστημάτων αυτών βελτιώνεται η δομή και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων του εδάφους, αυξάνεται η οργανική ουσία του εδάφους, μειώνονται οι εκπομπές CO₂ και αυξάνεται η δραστηριότητα των οργανισμών που ζουν στο έδαφος (Holland, 2004).

Τα συστήματα αειφορίας επεκτείνονται τα τελευταία χρόνια σε όλο τον κόσμο με γρήγορους ρυθμούς (ΗΠΑ, Καναδάς, Αργεντινή, Βραζιλία, Νότια Αφρική, Αυστραλία). Ξεκίνησαν από τις ΗΠΑ για την αντιμετώπιση της διάβρωσης των εδαφών (από το νερό και τον αέρα) αλλά επεκτάθηκαν και σε περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις με σκοπό την εξοικονόμηση εδαφικής υγρασίας. Στην Ευρώπη οι μεγαλύτερες εκτάσεις απαντώνται στην Γαλλία, Γερμανία και Ισπανία. Στην Ευρώπη καθυστέρησε η εφαρμογή των συστημάτων αυτών σε σχέση με την Αμερική. Στα επόμενα χρόνια όμως αναμένεται να επεκταθούν τα συστήματα αυτά στα πλαίσια της αειφορικής διαχείρισης του εδάφους και της προστασίας περιβάλλοντος και λόγω της αναμενόμενης μείωσης των επιδοτήσεων από την νέα ΚΑΠ.

Η έρευνα έχει δώσει αντικρουόμενα αποτελέσματα όσον αφορά την επίδραση των διαφόρων συστημάτων κατεργασίας στην απόδοση των καλλιεργειών. Άλλες έρευνες αναφέρουν μείωση των αποδόσεων με την μείωση της έντασης κατεργασίας, άλλες αναφέρουν ότι δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των συστημάτων, ενώ σε μερικές έρευνες παρατηρείται ακόμη και αύξηση των αποδόσεων. Αυτό συμβαίνει διότι η απόδοση επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως είναι το κλίμα, το έδαφος, το είδος της καλλιέργειας και οι ακολουθούμενες γεωργικές πρακτικές. Συνήθως στα

πρώτα χρόνια εφαρμογής της μειωμένης κατεργασίας και της ακαλλιέργειας παρατηρείται μείωση της απόδοσης αλλά με την πάροδο των ετών οι αποδόσεις σταθεροποιούνται και προσεγγίζουν τις αποδόσεις της συμβατικής κατεργασίας.

Στη παρούσα εργασία έγινε σύγκριση πέντε συστημάτων κατεργασίας του εδάφους σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων. Τα συστήματα ήταν η συμβατική κατεργασία, η μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή, η μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα, η μειωμένη κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα και η ακαλλιέργεια. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε ένα πείραμα που έχει εγκατασταθεί στο Αγρόκτημα του Π.Θ στο Βελεστίνο πριν από επτά έτη και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Στόχος της εργασίας ήταν η μελέτη της μακροχρόνιας επίδρασης των παραπάνω μεθόδων κατεργασίας στο έδαφος και στην καλλιέργεια των ζαχαροτεύτλων. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους (ξηρή φαινομενική πυκνότητα, αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση, αντοχή του εδάφους στη διάτμηση), στις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους (πληθυσμός και βιομάζα γαιοσκωλήκων), στο φύτρωμα και στην απόδοση των ζαχαροτεύτλων.

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1. Κατεργασία του εδάφους

Κατεργασία του εδάφους είναι το σύνολο των επεμβάσεων που γίνονται με γεωργικά μηχανήματα, με σκοπό να γίνει κατάλληλο για την αρχική εγκατάσταση της φυτείας και την άριστη ανάπτυξη των φυτών κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου.

Οι στόχοι της κατεργασίας του εδάφους είναι οι εξής (Τσατσαρέλης, 2000) :

- Ο ψιλοχωματισμός της επιφανειακής στοιβάδας του εδάφους ώστε να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες για την εγκατάσταση και το φύτευμα των μέσων πολλαπλασιασμού (προετοιμασία σποροκλίνης).
- Ο έλεγχος των ζιζανίων
- Η βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους όπως είναι το πορώδες, η υγρασία, η θερμοκρασία και η δομή του εδάφους.
- Η διαχείριση των φυτικών υπολειμμάτων
- Η ενσωμάτωση λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών ουσιών
- Η καταπολέμηση εντόμων που διαχειμάζουν στο έδαφος.
- Η προστασία του εδάφους από τη διάβρωση
- Η ισοπέδωση των εδαφών
- Η προετοιμασία του εδάφους για άρδευση

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου το έδαφος συμπιέζεται από την κίνηση των γεωργικών μηχανημάτων στον αγρό και από τη δράση των καιρικών φαινομένων. Η συμπίεση αυτή προκαλεί μείωση του πορώδους του εδάφους και κυρίως των μακροπόρων με αποτέλεσμα την μείωση του αερισμού του εδάφους και την ελάττωση του ρυθμού διήθησης του εδαφικού νερού. Η δομή του εδάφους που δημιουργείται με αυτό τον τρόπο δεν βοηθά την ανάπτυξη των φυτών. Για το λόγο αυτό γίνονται επεμβάσεις με γεωργικά μηχανήματα που ασκούν τάσεις στο έδαφος με σκοπό να επιτύχουν τη χαλάρωσή του, τη δημιουργία του μακροπορώδους και της δομής που θα ευνοήσει την ανάπτυξη της ρίζας.

Για τη επίτευξη των στόχων της κατεργασίας χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι μηχανημάτων. Τα εργαλεία κατεργάζονται το έδαφος ενεργώντας με πολλούς μηχανικούς τρόπους δράσης όπως είναι η ριγμάτωση, η κοπή κατά τμήματα, η διάτμηση, η κρούση, η συμπίεση, και η τριβή (Τσατσαρέλης, 2000).

Η κατεργασία του εδάφους διακρίνεται σε **πρωτογενή** και **δευτερογενή**. Η πρωτογενής κατεργασία γίνεται μετά την προηγούμενη καλλιέργεια. Έχει στόχο την βελτίωση της δομής του εδάφους με την δημιουργία κατάλληλου πορώδους για την ανάπτυξη της ρίζας κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Γίνεται κυρίως με τη χρήση αρότρου ή βαρύ καλλιεργητή που κατεργάζονται το έδαφος σε βάθος 20-30 εκατοστά και προκαλούν χαλάρωση αφήνοντας μια τραχιά επιφάνεια που είναι ακατάλληλη να δεχτεί το σπόρο. Η δευτερογενής κατεργασία ή προετοιμασία της σποροκλίνης, έχει στόχο να δημιουργήσει ευνοϊκές συνθήκες για την τοποθέτηση και βλάστηση των σπόρων και των άλλων μέσων αναπαραγωγής. Γίνεται με την χρήση ελαφρύτερων μηχανημάτων όπως δισκοσβάρνες και ελαφρείς καλλιεργητές που κατεργάζονται το έδαφος σε μικρότερο βάθος (8 εκατοστά).

2. 2. Συστήματα κατεργασίας του εδάφους

Τα συστήματα κατεργασίας του εδάφους καθορίζονται από τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την κατεργασία του εδάφους και τη σπορά και την εντατικότητα της χρήσης τους (αριθμός επεμβάσεων, βάθος κατεργασίας).

Σύμφωνα με την τυποποίηση της Αμερικάνικης Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών (ASAE EP291.2, 2002) τα συστήματα κατεργασίας ταξινομούνται με βάση την εντατικότητα σε:

1. Συστήματα συμβατικής κατεργασίας
2. Συστήματα που στοχεύουν στην αειφορική διαχείριση του εδάφους

Συμβατική κατεργασία (conventional tillage)

Στην συμβατική κατεργασία γίνεται πρωτογενής κατεργασία με άροτρο και ακολουθεί δευτερογενής κατεργασία. Κατά την πρωτογενή κατεργασία το έδαφος κόβεται σε λωρίδες και αναστρέφεται. Στην συνέχεια αφήνεται να υποστεί τις ευεργετικές επιδράσεις των καιρικών φαινομένων (διαβροχή-ξήρανση, ψύξη-

θέρμανση, συστολή-διαστολή). Ακολουθεί η δευτερογενής κατεργασία που γίνεται με σβάρνες, καλλιεργητές, περιστροφικά σκαπτικά και κυλίνδρους και έχει σκοπό την προετοιμασία της σποροκλίνης. Στόχος του συστήματος είναι να προετοιμαστεί το έδαφος έτσι ώστε να παρέχει τις καλύτερες συνθήκες για την σπορά, το φύτευμα και την ανάπτυξη των φυτών. Το σύστημα της συμβατικής κατεργασίας είναι ακόμη πολύ διαδεδομένο σ' όλο τον κόσμο γιατί ελέγχει αποτελεσματικά τα ζιζάνια και δίνει καλές αποδόσεις (Τσατσαρέλης, 2000).

Όμως η συμβατική κατεργασία είναι ένα σύστημα εντατικής διαχείρισης του εδάφους που έχει αυξημένες ανάγκες σε ενέργεια και ισχύ και σε ανθρώπινη εργασία με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος παραγωγής των γεωργικών προϊόντων. Επιπλέον με τις εντατικές επεμβάσεις επηρεάζονται πολλές πτυχές της φυσικής κατάστασης του εδάφους όπως η γονιμότητα, η σταθερότητα της δομής και η διαβρωσιμότητα. Ορισμένα σημαντικά προβλήματα που έχουν προκύψει ως συνέπεια της συμβατικής διαχείρισης του εδάφους είναι η διάβρωση, η συμπίεση και η μείωση της οργανικής ουσίας των εδαφών.

Η διάβρωση του εδάφους είναι ίσως το πιο σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα που συνδέεται με την συμβατική κατεργασία. Με την αναστροφή του εδάφους κατά το όργωμα τα φυτικά υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας ενσωματώνονται στο έδαφος. Επειδή το έδαφος παραμένει ακάλυπτο για μεγάλο χρονικό διάστημα είναι πιθανό να υποστεί διάβρωση από την βροχή ή τον άνεμο. Εκτιμάται ότι περίπου το 1/3 της καλλιεργήσιμης γης παγκόσμια έχει χαθεί λόγω της διάβρωσης τα τελευταία 40 έτη (Pimentel et al., 1995). Στην Ευρώπη στις περισσότερες χώρες τα εδάφη απειλούνται από τη διάβρωση σε κάποιο βαθμό αλλά το πρόβλημα είναι πιο σημαντικό στην περιοχή της Μεσογείου. Ο μέσος ρυθμός που χάνεται το έδαφος με την διάβρωση στην Ευρώπη είναι 17 τόνοι ανά εκτάριο και ανά έτος και είναι πολύ μεγαλύτερος από τον μέσο ρυθμό δημιουργίας του εδάφους που είναι 1 τόνος ανά εκτάριο και ανά έτος (Anonymous, 1999).

Οι αποδόσεις των καλλιεργειών στα εδάφη που έχουν υποστεί διάβρωση είναι 20-65% χαμηλότερες διότι η διάβρωση μειώνει την γονιμότητα των εδαφών και την διαθεσιμότητα του νερού (Papendick, 1992). Προκειμένου να αντισταθμιστούν οι αρνητικές επιπτώσεις της διάβρωσης χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων φυτοφαρμάκων και νερού άρδευσης με αποτέλεσμα να δημιουργείται ρύπανση και να αυξάνεται το κόστος παραγωγής. Η διάβρωση αυξάνει το κόστος παραγωγής περίπου κατά 25% κάθε χρόνο (Pimentel et al., 1995).

Μια άλλη δυσμενής επίδραση στο έδαφος που συνδέεται με την εντατική κατεργασία είναι η συμπίεση του εδάφους. Συμπίεση είναι η αύξηση της πυκνότητας του εδάφους, η οποία προκαλείται από την άσκηση τάσεων στο έδαφος. Η συμπίεση προκαλείται από την συχνή κίνηση γεωργικών μηχανημάτων μεγάλου βάρους μέσα στον αγρό όπως είναι οι γεωργικοί ελκυστήρες και οι μηχανές συγκομιδής και από τα εργαλεία κατεργασίας που εργάζονται μέσα στο έδαφος (Chancellor, 1977). Στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου η μεγαλύτερη συμπίεση συμβαίνει κατά την μηχανική συγκομιδή ιδίως όταν αυτή πραγματοποιείται σε υγρές συνθήκες (Boizard et al., 2002). Στα συμπιεσμένα εδάφη μειώνεται το πορώδες με δυσμενείς επιπτώσεις στην κίνηση του νερού και του αέρα και στην ανάπτυξη των ριζών. Για το λόγο αυτό η συμπίεση μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στο φύτευμα, στην ανάπτυξη και στην απόδοση μιας καλλιέργειας (Chancellor, 1977).

Όταν η κατεργασία του εδάφους γίνεται σε σταθερό βάθος και με το ίδιο εργαλείο κατεργασίας μπορεί να δημιουργηθεί σκληρή και αδιαπέραστη ζώνη (hard pan), που είναι ένα συνεκτικό στρώμα εδάφους ακριβώς κάτω από το βάθος κατεργασίας. Από τα εργαλεία κατεργασίας το υνάροτρο δημιουργεί το μεγαλύτερο πρόβλημα καθώς όταν εργάζεται το κάτω μέρος της βάσης συμπιέζει το έδαφος (Chancellor, 1977). Η σκληρή και αδιαπέραστη ζώνη παρεμποδίζει την ανάπτυξη των ριζών σε βαθύτερα στρώματα του εδάφους και επηρεάζει την στράγγιση του νερού.

Η οργανική ουσία του εδάφους είναι από τα πιο σημαντικά συστατικά του εδάφους. Ωστόσο με την εφαρμογή της συμβατικής κατεργασίας η οργανική ουσία των εδαφών συνεχώς μειώνεται. Αυτό συμβαίνει διότι κατά την αναστροφή του εδάφους με το όργωμα ο έντονος αερισμός που προκαλείται αυξάνει τη δράση των μικροοργανισμών οι οποίοι προκαλούν διάσπαση της οργανικής ουσίας του εδάφους. Εκτός από την εντατική κατεργασία του εδάφους, η μείωση της οργανικής ουσίας οφείλεται στην και στην απομάκρυνση των φυτικών υπολειμμάτων και στην αντικατάσταση των οργανικών λιπασμάτων με ανόργανα. Εκτιμάται ότι μέσα σε ένα διάστημα περίπου 20 ετών εντατικής κατεργασίας τα περισσότερα γεωργικά εδάφη χάνουν το 50% του άνθρακα (Kinsella, 1995). Η μείωση της οργανικής ουσίας επηρεάζει την δομή και τη σταθερότητα του εδάφους, την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, την ρυθμιστική ικανότητα, την βιολογική δραστηριότητα και την ικανότητα συγκράτησης θρεπτικών στοιχείων (Holland, 2004). Επίσης μακροπρόθεσμα μπορεί να κάνει το έδαφος πιο επιρρεπές στη διάβρωση, τη

συμπίεση, την οξίνιση, την αλάτωση, και στην έλλειψη θρεπτικών στοιχείων και υγρασίας (European Environment Agency, 1998).

Κατά τη διάσπαση της οργανικής ουσίας απελευθερώνεται CO₂ στην ατμόσφαιρα (Lal, 1997) συνεισφέροντας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η γεωργία συνεισφέρει κατά 20% στο φαινόμενο του θερμοκηπίου παράγοντας μεθάνιο, οξείδια του αζώτου και CO₂ (Cole, 1996).

Η συμβατική κατεργασία επηρεάζει σοβαρά και την ποιότητα του νερού. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω επειδή το έδαφος παραμένει ακάλυπτο είναι πιθανό να υποστεί διάβρωση από το νερό της βροχής. Τα εδαφικά σωματίδια παρασύρονται με το νερό της βροχής και καταλήγουν στα επιφανειακά νερά. Μαζί τους παρασύρονται επίσης ανόργανα θρεπτικά στοιχεία και αγροχημικά που είναι προσκολλημένα στα εδαφικά σωματίδια ή είναι διαλυμένα στο νερό. Όλα τα παραπάνω καταλήγουν στα επιφανειακά νερά και ζημιώνουν τα οικοσυστήματα (Uri et al., 1998).

Επιπλέον με την εντατική κατεργασία του εδάφους μειώνονται οι πληθυσμοί και τα είδη των οργανισμών που ζουν στο έδαφος, οι οποίοι παίζουν σπουδαίο ρόλο στην διατήρηση της δομής και της γονιμότητας του εδάφους (Kladivko, 2001).

Για όλους τους παραπάνω λόγους το σύστημα της συμβατικής κατεργασίας δέχεται τα τελευταία έντονη κριτική και γίνεται μεγάλη συζήτηση για μετάβαση σε λιγότερο εντατικά συστήματα κατεργασίας του εδάφους.

Συστήματα κατεργασίας που στοχεύουν στην αειφορική διαχείριση του εδάφους (conservation tillage)

Τα συστήματα αειφορίας περιλαμβάνουν κάθε σύστημα κατεργασίας που αφήνει καλυμμένο με φυτικά υπολείμματα τουλάχιστον το 30% της επιφάνειας του εδάφους (ASAE 2002, EP291.2). Με την διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων στην επιφάνεια του εδάφους περιορίζεται η διάβρωση, αυξάνεται η οργανική ουσία στην επιφανειακή στρώση του εδάφους, αυξάνεται η δραστηριότητα των μικροοργανισμών και των μικρών ζώων που ζουν στο έδαφος και γίνεται καλύτερη διαχείριση της υγρασίας του εδάφους. Στοχεύουν στην αειφορική διαχείριση του εδάφους με την διατήρηση της παραγωγικότητας και της γονιμότητάς του και στην μείωση του κόστους παραγωγής με την μείωση των καλλιεργητικών επεμβάσεων.

Στα συστήματα αειφορίας περιλαμβάνονται διάφορα συστήματα κατεργασίας όπως φαίνεται παρακάτω (ASAE EP291.2, 2002):

Ελάχιστη κατεργασία (minimum tillage). Στο σύστημα αυτό πραγματοποιούνται οι ελάχιστες δυνατές επεμβάσεις για την προετοιμασία του εδάφους για τη σπορά. Μπορεί να γίνει μια ελαφρά κατεργασία και να ακολουθήσει η σπορά είτε να γίνει ταυτόχρονα η κατεργασία και η σπορά. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μείωση του κόστους και του χρόνου προετοιμασίας.

Άριστη κατεργασία (optimum tillage). Είναι ένα ιδεατό σύστημα κατεργασίας. Στοχεύει στην επίτευξη του μεγαλύτερου δυνατού οικονομικού οφέλους για μια καλλιέργεια και δεδομένες εδαφοκλιματικές συνθήκες, με αειφορική χρήση των φυσικών πόρων.

Κατεργασία διατήρησης φυτικών υπολειμμάτων στην επιφάνεια του χωραφιού (mulch tillage). Αναφέρεται σε συστήματα στα οποία τα φυτικά υπολείμματα δεν ενσωματώνονται στο έδαφος αλλά αφήνονται στην επιφάνεια ή ενσωματώνονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Ακολουθεί μειωμένη δευτερεύουσα κατεργασία και σπορά. Ακόμη τα φυτικά υπολείμματα μπορούν να προστεθούν και μετά την αβαθή κατεργασία. Επίσης έχουν δοκιμαστεί να προστεθούν και άλλα υλικά στο έδαφος όπως χαρτί, άχυρο, κομπόστ και άλλα.



Μειωμένη κατεργασία (reduced tillage). Είναι ένας γενικός όρος που περιλαμβάνει συστήματα κατεργασίας που έχουν στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση εργαλείων που κατεργάζονται το έδαφος σε μικρότερο βάθος και με την διενέργεια μικρότερου αριθμού καλλιεργητικών επεμβάσεων.

Καλλιέργεια σε αναχώματα (ridge tillage). Στο σύστημα αυτό η σπορά γίνεται σε αναχώματα που δημιουργούνται με κατάλληλα μηχανήματα. Τα φυτικά υπολείμματα αφήνονται στο χώρο ανάμεσα στα αναχώματα. Ο έλεγχος των ζιζανίων γίνεται με ζιζανιοκτόνα, καλλιεργητικά μέτρα ή συνδυασμό και των δύο. Τα αναχώματα δημιουργούνται πάλι μετά τη συγκομιδή. Λόγω της κατασκευής του αναχώματος το νερό στραγγίζει πιο γρήγορα και το έδαφος θερμαίνεται πιο εύκολα την άνοιξη με αποτέλεσμα την πρωίμηση της παραγωγής.

Κατεργασία σε λωρίδες (strip tillage). Στο σύστημα αυτό η κατεργασία γίνεται σε λωρίδες πάνω στις οποίες τοποθετείται ο σπόρος. Η επιφάνεια του κατεργασμένου εδάφους δεν ξεπερνά το 30% της συνολικής έκτασης του εδάφους.

Ακαλλιέργεια ή μηδενική κατεργασία, ή απευθείας σπορά (no-tillage, zero tillage, direct drilling). Στο σύστημα της ακαλλιέργειας το έδαφος δεν δέχεται καμία κατεργασία. Η σπορά γίνεται με ειδικές μηχανές βαριάς κατασκευής που τοποθετούν το σπόρο απευθείας σε ακαλλιέργητο έδαφος. Ο έλεγχος των ζιζανίων γίνεται με ζιζανιοκτόνα , αμειψισπορές και μηχανικά μέσα.

Η εφαρμογή των συστημάτων αειφορίας έχει πολλά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη, τα οποία σύμφωνα με τον Holland (2004) είναι τα εξής:

- Προστασία του εδάφους από τη διάβρωση. Το έδαφος καλύπτεται με τα φυτικά υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας ή με καλλιέργεια κάλυψης και προστατεύει το έδαφος από την διαβρωτική δράση του νερού και του ανέμου.
- Αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους. Με την αποσύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων αυξάνεται η οργανική ουσία στην επιφάνεια του εδάφους. Ταυτόχρονα μειώνεται η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας λόγω της μικρότερης διατάραξης του εδάφους. Η οργανική ουσία είναι ένα από τα πιο σημαντικά συστατικά του εδάφους. Επηρεάζει την δομή, την σταθερότητα και τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους, την ικανότητα συγκράτησης της υγρασίας, την βιολογική δραστηριότητα και την ικανότητα συγκράτησης θρεπτικών στοιχείων.
- Βελτίωση της δομής του εδάφους. Η οργανική ουσία δημιουργεί σταθερή δομή στα εδάφη που εφαρμόζονται τα συστήματα αειφορίας. Η αποσύνθεση των ριζών αφήνει διόδους για την κίνηση του νερού και του αέρα. Η αυξημένη δραστηριότητα των γαιοσκωλήκων δημιουργεί ένα συνεχές δίκτυο από στοές στο έδαφος που βοηθούν στον αερισμό του εδάφους και στην κίνηση του εδαφικού νερού. Με την διατήρηση της δομής του εδάφους επιτυγχάνεται καλύτερη διήθηση του εδαφικού νερού και μειώνεται ο κίνδυνος της επιφανειακής απορροής και η ρύπανση των επιφανειακών υδάτων από ιζήματα, φυτοπροστατευτικές ουσίες (ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα, μυκητοκτόνα) και λιπάσματα.

- Διατήρηση της υγρασίας του εδάφους. Η κάλυψη του εδάφους με φυτικά υπολείμματα συγκρατεί την υγρασία στο έδαφος.
- Αύξηση της βιοποικιλότητας των εδαφών. Στο έδαφος ζουν διάφοροι οργανισμοί (βακτήρια, μύκητες, πρωτόζωα, νηματώδεις, ακάρεα, αρθρόποδα, γαιοσκώληκες κ.α). Οι οργανισμοί αυτοί παίζουν σπουδαίο ρόλο στην ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων, στη βελτίωση της δομής του εδάφους και στον ανταγωνισμό των εχθρών και ασθενειών των καλλιεργούμενων φυτών. Στα εδάφη που εφαρμόζονται συστήματα αειφορίας υπάρχουν μεγάλοι πληθυσμοί και ποικιλία ειδών, λόγω της αυξημένης οργανικής ουσίας στην επιφάνεια του εδάφους που δίνει τροφή στους οργανισμούς αυτούς και λόγω της ελάχιστης διατάραξης του εδάφους.
- Μείωση των εκπομπών του CO₂. Η εντατική κατεργασία του εδάφους διασπά την οργανική ουσία και απελευθερώνει CO₂ στην ατμόσφαιρα. Με τα συστήματα αειφορίας αυξάνεται οργανική ουσία του εδάφους και η δέσμευση του C στο έδαφος και επομένως μειώνονται οι εκπομπές του CO₂ στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον στα συστήματα αειφορίας απαιτούνται λιγότερες επεμβάσεις με γεωργικά μηχανήματα με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται λιγότερα καύσιμα τα οποία κατά την καύση τους παράγουν CO₂.
- Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και του κόστους. Στα συστήματα αειφορίας πραγματοποιούνται λιγότερες επεμβάσεις με γεωργικά μηχανήματα για την προετοιμασία του εδάφους και τη σπορά με αποτέλεσμα την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για καύσιμα. Επιπλέον με την μείωση των καλλιεργητικών επεμβάσεων γίνεται χρήση λιγότερων μηχανημάτων και μειώνεται το κόστος των επισκευών και συντήρησης, απαιτείται λιγότερη ανθρώπινη εργασία και μειώνεται ο χρόνος προετοιμασίας του εδάφους. Όλα τα παραπάνω οδηγούν σε μείωση του κόστους παραγωγής των γεωργικών προϊόντων.

Τα συστήματα αειφορίας παρόλα τα περιβαλλοντικά και οικονομικά τους οφέλη, δεν είναι εύκολα στην εφαρμογή τους από τον γεωργό (Garcia-Torres et al., 2004) για τους εξής λόγους:

- Απαιτείται εκπαίδευση των παραγωγών στις νέες μεθόδους και τεχνικές διαχείρισης των καλλιεργειών.
- Τα ζιζάνια έχουν αυξημένους πληθυσμούς κυρίως στο σύστημα της ακαλλιέργειας που δεν πραγματοποιείται καμία κατεργασία στο έδαφος. Η αντιμετώπισή τους γίνεται με χημικά μέσα τα οποία πρέπει να εφαρμόζονται σε αυξημένες δόσεις και στα κατάλληλα χρονικά διαστήματα.
- Απαιτούν επένδυση σε νέο μηχανολογικό εξοπλισμό ο οποίος έχει μεγάλο κόστος

Τα συστήματα αειφορίας εφαρμόζονται σήμερα σε όλο τον κόσμο σε περιοχές που η βροχή προκαλεί διάβρωση ή σε περιοχές χαμηλές βροχοπτώσεις όπου απαιτείται εξοικονόμηση υγρασίας. Οι μεγαλύτερες εκτάσεις βρίσκονται στις ΗΠΑ, Καναδά, Αργεντινή, Βραζιλία και Αυστραλία (πίνακες 1 και 2). Στην Ευρώπη καθυστέρησε η εφαρμογή αυτών των συστημάτων σε σχέση με την Αμερική και κατέχουν ένα μικρό μέρος της καλλιεργήσιμης γης. Οι μεγαλύτερες εκτάσεις απαντώνται στην Γαλλία, στην Γερμανία και την Ισπανία (πίνακας 3).

Σύμφωνα με τους Garcia-Torres et al. (2004) οι λόγοι για τους οποίους δεν αναπτύχθηκαν τα συστήματα αυτά στην Ευρώπη είναι οι εξής:

- α) Οι γεωργοί είχαν ικανοποιητικά εισοδήματα λόγω των επιδοτήσεων από την Ε.Ε. και δεν υπήρχε πίεση να μεταβούν σε νέα συστήματα ώστε να μειώσουν το κόστος παραγωγής των αγροτικών προϊόντων.
- β) Έλλειψη τεχνολογίας. Για την εφαρμογή των νέων μεθόδων απαιτείται προσαρμογή του μηχανολογικού εξοπλισμού και των τεχνικών που χρησιμοποιούνται σε άλλες χώρες, στις Ευρωπαϊκές συνθήκες
- γ) Έλλειψη μεταφοράς τεχνολογίας. Ενώ έρευνα έχει δείξει ότι η εφαρμογή των συστημάτων αειφορίας έχει πολλά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη, τα αποτελέσματα της έρευνας δεν έχουν φτάσει στους γεωργούς. Οι γεωργοί πρέπει να πεισθούν να εφαρμόσουν τα νέα συστήματα που είναι εντελώς διαφορετικά από την παραδοσιακή γεωργία που ασκούσαν για δεκαετίες.
- δ) Έλλειψη κοινοτικής υποστήριξης. Μέχρι τώρα δεν υπήρχε σαφής πολιτική στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την προστασία του εδάφους.

Στα επόμενα χρόνια όμως αναμένεται να επεκταθούν τα συστήματα αυτά στα πλαίσια της ανάπτυξης πολιτικής από την Ε.Ε. για την αειφορική διαχείριση

του εδάφους και την προστασία του περιβάλλοντος και λόγω της αναμενόμενης μείωσης των επιδοτήσεων από την νέα ΚΑΠ.

Πίνακας 2.2.1. Καλλιεργούμενες εκτάσεις με συστήματα αειφορίας για το διάστημα 1990 –2000 στις Η.Π.Α, σε εκατομμύρια εκτάρια (Koller, 2003).

Σύστημα κατεργασίας	Έκταση σε εκατομμύρια εκτάρια					
	1990	1992	1994	1996	1998	2000
Ακαλλιέργεια/ Κατεργασία σε λωρίδες	6,8 (6%)	11,4 (9,9%)	15,7 (13,7%)	17,4 (14,8%)	19,3 (16,3%)	20,6 (17,5%)
Κατεργασία σε αναχώματα	1,2 (1,1%)	1,4 (1,2%)	1,5 (1,3%)	1,4 (1,2%)	1,4 (1,2%)	1,3 (1,1%)
Κατεργασία διατήρησης φυτ. υπολειμμάτων	21,6 (19%)	23,2 (20,2%)	23 (20%)	23,3 (19,8%)	23,4 (19,7%)	21,1 (17,9%)
Μειωμένη κατεργασία	28,7 (25,3%)	29,7 (25,9%)	29,6 (25,8%)	30,3 (25,8%)	31,6 (26,2%)	24,3 (20,6%)
Παραδοσιακή κατεργασία	55,3 (48,7%)	48,9 (42,7%)	45,1 (39,3%)	45,2 (38,5%)	43 (36,2%)	50,4 (42,8%)
Σύνολο	88,3	114,5	114,9	117,5	118,8	117,6

Πίνακας 2.2.2. Συνολική έκταση με ακαλλιέργεια σε διάφορες χώρες το έτος 1999 (Koller, 2003).

Χώρα	Έκταση (εκτάρια)
Η.Π.Α.	19.347.000
Βραζιλία	11.200.000
Αργεντινή	7.270.000
Καναδάς	4.080.000
Αυστραλία	1.000.000
Παραγουάη	790.000
Μεξικό	500.000
Βολιβία	200.000
Χιλή	96.000
Ουρουγουάη	50.000
Άλλες	1.000.000
Σύνολο	45.000.000

Πίνακας 2.2.3. Εκτάσεις που καλλιεργούνται με συστήματα αειφορίας σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες, σε εκτάρια (ECAF, 1999).

Χώρα	Έκταση σε εκτάρια			
	Αειφορικά συστήματα	Ποσοστό της καλλιεργούμενης έκτασης	Ακαλλιέργεια	Ποσοστό της καλλιεργούμενης έκτασης
Βέλγιο	140.000	10%		
Ιρλανδία	10.000	4%	100	0,3%
Σλοβακία	140.000	10%	10.000	1%
Ελβετία	120.000	40%	9.000	3%
Γαλλία	3.000.000	17%	150.000	0,3%
Γερμανία	2.375.000	20%	354.150	3%
Πορτογαλία	39.000	1,3%	25.000	0,8%
Δανία	230.000	8%		
Αγγλία	1.440.000	30%	24.000	1%
Ισπανία	2.000.000	14%	300.000	2%
Ουγγαρία	500.000	10%	8000	<1%
Ιταλία	560.000	6%	80.000	1%
Σύνολο	10.540.000		960.250	

2. 3. Επίδραση των συστημάτων κατεργασίας στο έδαφος

Με την εισαγωγή διάφορων μεθόδων κατεργασίας στο έδαφος επέρχεται μια σημαντική μεταβολή στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους. Οι περισσότερες έρευνες δείχνουν αύξηση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας του εδάφους όταν μειώνεται η ένταση κατεργασίας (Salinas-Garcia et al., 1997, Tebrugge and During, 1999, Rasmussen, 1999, Gemtos et al., 2002, Barzegar et al., 2003).

Υπάρχουν όμως και έρευνες που δεν δείχνουν διαφορές μεταξύ των συστημάτων κατεργασίας κυρίως σε μακροχρόνια πειράματα, διότι με το πέρασμα των ετών βελτιώνεται η δομή του εδάφους στα συστήματα της μειωμένης κατεργασίας και της ακαλλιέργειας. Οι Lal et al. (1994), δεν διαπίστωσαν διαφορές στην ξηρή φαινομενική πυκνότητα μεταξύ της ακαλλιέργειας και της κατεργασίας με καλλιεργητή βαρέως τύπου μετά από εφαρμογή των συστημάτων επί 28 συνεχή έτη. Το αποτέλεσμα αυτό αποδόθηκε στις ιδιότητες των αργιλωδών εδαφών να επωφελούνται από το σύστημα της ακαλλιέργειας. Οι Arshad et al. (1999) δεν βρήκαν διαφορές στην ξηρή φαινομενική πυκνότητα μεταξύ της συμβατικής κατεργασίας και της ακαλλιέργειας μετά από 16 χρόνια πειραμάτων σε δύο τύπους εδαφών (ιλοπηλώδες και αμμοπηλώδες) στον Καναδά. Στο ίδιο πείραμα μετρήθηκε επίσης το πορώδες του εδάφους σε βάθος 0,3 m. Παρόλο που το συνολικό πορώδες δεν επηρεάστηκε από το σύστημα κατεργασίας, άλλαξε η κατανομή του μεγέθους των πόρων. Στην ακαλλιέργεια τα εδάφη περιείχαν περισσότερους μικρούς πόρους ($<0,75\mu\text{m}$) και λιγότερους μεγάλους πόρους ($>15\mu\text{m}$). Σύμφωνα με τους ερευνητές η ξηρή φαινομενική πυκνότητα δεν αυξήθηκε στην ακαλλιέργεια λόγω της ανακατανομής του μεγέθους των πόρων και της βελτίωσης της δομής του εδάφους.

Επίσης ο Unger (1990) δεν βρήκε διαφορές στη ξηρή φαινομενική πυκνότητα μεταξύ της ακαλλιέργειας και της συμβατικής κατεργασίας σε αργιλοπηλώδες έδαφος κάτω από ξηρικές συνθήκες. Υπέθεσε όμως ότι κάτω από αρδευόμενες συνθήκες μπορούν να αναπτυχθούν εντοπισμένες ζώνες με αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα όταν όλες οι καλλιεργητικές εργασίες γίνονται με ελεγχόμενη κίνηση των μηχανημάτων στον αγρό. Έτσι διεξήγαγε ένα άλλο πείραμα στον ίδιο τύπο εδάφους με σκοπό να συγκρίνει την επίδραση της ελεγχόμενης μετακίνησης στον αγρό σε τεμάχια με ακαλλιέργεια και μειωμένη κατεργασία. Το σύστημα καλλιέργειας ήταν αμειψισπορά χειμερινού σιταριού με καρποδοτικό σόργο κάτω

από συνθήκες περιορισμένης άρδευσης. Η μέτρηση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας έδειξε ότι ήταν μεγαλύτερη στις γραμμές που περνούσαν οι τροχοί του ελκυστήρα σε σχέση με τον ενδιάμεσο χώρο και με τις γραμμές των φυτών. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι περιορίζοντας την μετακίνηση των μηχανημάτων σε συγκεκριμένες ζώνες στον αγρό μειώνεται το ενδεχόμενο της δημιουργίας δυσμενών συνθηκών στο έδαφος σε αρδευόμενες καλλιέργειες που χρησιμοποιούν το σύστημα της μηδενικής κατεργασίας Unger (1996).

Στην ακαλλιέργεια το έδαφος παραμένει αδιατάρακτο με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μεγαλύτερα και πιο σταθερά συσσωματώματα (Rasmussen, 1999, Arshad et al., 1999). Με τον τρόπο αυτό το έδαφος γίνεται πιο ανθεκτικό στη συμπίεση από τα γεωργικά μηχανήματα (Tebrugge and During, 1999) και στη διάβρωση (Hajabbasi and Hemmat, 2000).

Με την αύξηση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας στην ακαλλιέργεια μειώνεται τα πορώδες του εδάφους (Tebrugge and During, 1999). Ωστόσο δεν παρατηρούνται δυσκολίες στην κίνηση του νερού και του αέρα στο έδαφος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι καθώς αποσυντίθενται οι ρίζες των φυτών της προηγούμενης καλλιέργειας αφήνουν διόδους για την κίνηση του νερού και του αέρα. Επίσης οι γαιοσκώληκες έχουν που έχουν αυξημένους πληθυσμούς στην ακαλλιέργεια (Vavoulidou et al., 1999, Kladvniko, 2001) δημιουργούν ένα δίκτυο στοών στο έδαφος που διευκολύνουν τη στράγγιση του νερού και την κυκλοφορία του αέρα στο έδαφος. Οι Sidiras και Kahnt (1988), διαπίστωσαν ότι σε βάθος 0-30 cm ο αριθμός των βιοπόρων σε ένα έδαφος που εφαρμοζόταν μειωμένη κατεργασία ήταν κατά 261% μεγαλύτερος σε σχέση με τους βιοπόρους που απαντήθηκαν στο οργωμένο έδαφος.

Επίσης στο ακαλλιέργητο έδαφος δεν παρουσιάζεται το φαινόμενο της σκληρής αδιαπέραστης ζώνης που οφείλεται στα εργαλεία κατεργασίας. Το έδαφος είναι ομοιόμορφο, χωρίς ορίζοντες γεγονός που επιδρά ευνοϊκά στην κίνηση του νερού και του αέρα (Τσατσαρέλης, 2000).

Κατά την μετάβαση από την συμβατική κατεργασία στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας και ακαλλιέργειας αυξάνεται και η αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση. Όταν οι τιμές της αντίστασης στη διείσδυση ξεπερνούν 2000 kPa συνήθως έχουμε μείωση των αποδόσεων και όταν ξεπερνούν τα 1500 kPa μειώνεται η ανάπτυξη των ριζών (Threadgill, 1982). Οι Munkholm et al. (2003), σε ένα πείραμα στη Δανία παρατήρησαν ότι η αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση ήταν

αυξημένη στην ακαλλιέργεια σε σχέση με την συμβατική κατεργασία και στα τρία χρόνια διεξαγωγής του πειράματος. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η υιοθέτηση του συστήματος της ακαλλιέργειας στις συγκεκριμένες εδαφοκλιματικές συνθήκες (υγρό και ψυχρό κλίμα και αμμοιλυώδες έδαφος) έχει ως αποτέλεσμα την συμπίεση του εδάφους. Οι Ferreras et al. (2000) βρήκαν επίσης ότι η αντίσταση του εδάφους στην διείσδυση ήταν μεγαλύτερη στην ακαλλιέργεια σε σχέση με την συμβατική κατεργασία. Ομοίως ο Καβαλάρης (2004), διαπίστωσε αυξημένη αντίσταση στη διείσδυση στην ακαλλιέργεια και στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας σε σχέση με την συμβατική κατεργασία. Οι Lopez et al. (1996), δεν βρήκαν διαφορές στην αντίσταση στη διείσδυση ανάμεσα στη συμβατική κατεργασία και την μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή σε δύο τύπους εδαφών σε ξηρική καλλιέργεια κριθαριού στην Ισπανία. Η αντίσταση στη διείσδυση στις δύο αυτές κατεργασίες είχε τιμές μεταξύ 0-2 kPa. Στην ακαλλιέργεια όμως παρουσίαζε μεγαλύτερες τιμές οι οποίες ήταν μεταξύ 2-4 kPa και σε μερικές περιπτώσεις ξεπερνούσε τα 4 kPa.

Σε ένα συμπαγές ακαλλιέργητο έδαφος τα φυτά αναγκάζονται να αναπτύξουν ένα λεπτότερο αλλά μεγαλύτερο σε μήκος ριζικό σύστημα. Οι Sidiras et al. (2001), παρατήρησαν ότι οι ρίζες του κριθαριού στην ακαλλιέργεια ήταν λεπτότερες σε σχέση με την συμβατική κατεργασία αλλά η συνολική τους μάζα ήταν μεγαλύτερη. Η μάζα των ριζών είχε θετική συσχέτιση με το εδαφικό πορώδες και αρνητική συσχέτιση με την αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση.

Υπάρχουν ωστόσο και έρευνες που δεν δείχνουν διαφορές στην αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση ανάμεσα στις μεθόδους κατεργασίας. Οι Hao et al. (2000) δεν διαπίστωσαν διαφορές στην αντίσταση στη διείσδυση ανάμεσα στη συμβατική κατεργασία και την ελάχιστη κατεργασία. Οι Wilkins et al. (2002), παρατήρησαν ότι υπήρχε μια σημαντική αύξηση της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση όταν η συμβατική κατεργασία αντικαθίσταται από την ακαλλιέργεια. Μετά όμως από 17 συνεχή έτη ακαλλιέργειας η αντοχή του εδάφους μειώθηκε και πλησίασε την κατάσταση του εδάφους που δημιουργεί η συμβατική κατεργασία. Επίσης μετά από 17 έτη ακαλλιέργειας ο σκληρός και αδιαπέραστος ορίζοντας που δημιουργήθηκε από την κατεργασία άρχισε να εξαφανίζεται. Οι Moreno et al. (1997), διαπίστωσαν σε ένα τριετές πείραμα στην νότια Ισπανία ότι η αντίσταση στη διείσδυση ήταν μεγαλύτερη στην μειωμένη κατεργασία σε σχέση με την συμβατική κατεργασία αλλά οι διαφορές δεν ήταν πάντα στατιστικά σημαντικές.

2. 4. Επίδραση των συστημάτων κατεργασίας στο πληθυσμό και την βιομάζα των γαιοσκωλήκων

Η διατήρηση της δομής και της γονιμότητας του εδάφους σχετίζεται άμεσα με την δραστηριότητα, την ποικιλία των ειδών και την βιομάζα της χλωρίδας και της πανίδας που ζει στο έδαφος (Buckerfield, et al., 1997). Οι γαιοσκώληκες παίζουν σπουδαίο ρόλο στην βελτίωση της φυσικής κατάστασης και της γονιμότητας του εδάφους διότι αποτελούν ένα σημαντικό μέρος της πανίδας στα καλλιεργούμενα εδάφη (Kladivko, 2001).

Η επίδρασή τους στο έδαφος γίνεται με τους εξής τρόπους: (1) τα θρεπτικά στοιχεία που περιέχονται στα περιττώματα των γαιοσκωλήκων είναι άμεσα διαθέσιμα για τα φυτά, (2) τα περιττώματα των γαιοσκωλήκων σχηματίζουν συσσωματώματα που βελτιώνουν την δομή του εδάφους, (3) οι στοές των γαιοσκωλήκων βοηθούν στη διήθηση του εδαφικού νερού και στην μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, (4) οι ρίζες των φυτών διεισδύουν σε μεγαλύτερο βάθος στις στοές των γαιοσκωλήκων και (5) έχουν τη δυνατότητα να ενσωματώσουν μεγάλες ποσότητες φυτικών υπολειμμάτων στο έδαφος (Rasmussen 1999).

Για τους παραπάνω λόγους οι γαιοσκώληκες χρησιμοποιούνται ως βιολογικοί δείκτες της γονιμότητας του εδάφους. Με την μέτρηση του πληθυσμού ή της βιομάζας των γαιοσκωλήκων μπορεί να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις στο έδαφος από τις επεμβάσεις κατεργασίας, από τα αγροχημικά (λιπάσματα, εντομοκτόνα, μυκητοκτόνα και ζιζανιοκτόνα) και από τα βαριά μέταλλα (Paoletti, 1999). Τα χαρακτηριστικά που τους κάνουν κατάλληλους να χρησιμοποιηθούν ως βιολογικοί δείκτες είναι ότι έχουν σχετικά μεγάλο μέγεθος και κινούνται αργά στο έδαφος και για τους λόγους αυτούς είναι εύκολη η συλλογή τους.

Ανάλογα με τα οικολογικά χαρακτηριστικά τους οι γαιοσκώληκες διακρίνονται στις εξής κατηγορίες (Chan, 2001):

1. Είδη που ζουν στην επιφάνεια του εδάφους, τρέφονται με φυτικά υπολείμματα και συνήθως δεν δημιουργούν στοές (epigeic).
2. Είδη που ζουν σε κατακόρυφες στοές στο έδαφος αλλά έρχονται στην επιφάνεια του εδάφους για να τραφούν όταν υπάρχει υγρασία (συνήθως τη νύχτα) και μεταφέρουν τα φυτικά υπολείμματα στις στοές τους (anecic)

3. Είδη που ζουν κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, δημιουργούν κυρίως οριζόντιες στοές και τρέφονται στους οργανικούς οριζόντες του εδάφους (endogeic).

Οι γαιοσκώληκες επηρεάζονται από το pH, την θερμοκρασία, τον αερισμό, την υγρασία και τα επίπεδα αλατότητας του εδάφους (Chan, 2001). Οι γαιοσκώληκες δεν έχουν την ικανότητα να διατηρούν σταθερή περιεκτικότητα σε νερό στο σώμα τους και το νερό που περιέχει το σώμα τους εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους. Για το λόγο αυτό οι γαιοσκώληκες είναι δραστήριοι όταν υπάρχει αρκετή υγρασία στο έδαφος. Επίσης η θερμοκρασία επηρεάζει δραστικά την ανάπτυξη των γαιοσκωλήκων. Η άριστη θερμοκρασία για την ανάπτυξή τους διαφέρει ανάλογα με το είδος και κυμαίνεται σε στενά όρια. Ανάλογα με τις μεταβολές της θερμοκρασίας και της υγρασίας του εδάφους διαφορετικά είδη γαιοσκωλήκων μετακινούνται στο έδαφος και είναι ενεργά σε διάφορα βάθη ανάλογα με την εποχή του έτους (Chan, 2001).

Στη χώρα μας η καλύτερη εποχή για την παρατήρηση των γαιοσκωλήκων είναι η άνοιξη διότι το έδαφος έχει αρκετή υγρασία και η θερμοκρασία του δεν είναι πολύ χαμηλή.

Η κατεργασία του εδάφους επηρεάζει τους γαιοσκώληκες που βρίσκονται στο έδαφος άμεσα και έμμεσα. Η άμεση επίδραση οφείλεται στην μηχανική επίδραση των εργαλείων κατεργασίας και η έμμεση στις αλλαγές που προκαλούνται στο περιβάλλον του εδάφους από την κατεργασία. Οι αλλαγές αυτές περιλαμβάνουν: α) καταστροφή των στοών που δημιουργούν οι γαιοσκώληκες, β) ανακατανομή των φυτικών υπολειμμάτων στο έδαφος και γ) αλλαγές στην θερμοκρασία και την υγρασία του εδάφους (Chan, 2001).

Η επίδραση της κατεργασίας στους πληθυσμούς των γαιοσκωλήκων εξαρτάται από το είδος του εργαλείου που χρησιμοποιείται (το οποίο καθορίζει και το βάθος κατεργασίας), την ένταση της κατεργασίας, την εποχή που γίνεται η κατεργασία, τον τύπο του εδάφους, την κατάσταση του εδάφους πριν την κατεργασία και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν μετά την κατεργασία (Chan, 2001).

Τα μηχανήματα κατεργασίας του εδάφους και ειδικότερα αυτά που χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν μια λεπτόκοκκη σποροκλίνη μετά το όργωμα δημιουργούν προβλήματα στους γαιοσκώληκες, κυρίως στα είδη που δημιουργούν βαθιές στοές στο έδαφος αλλά και στα επίγεια είδη. Τα μεγαλύτερα σε μέγεθος είδη συνήθως εξαφανίζονται κατά την μετάβαση ενός ακαλλιέργητου

εδάφους σε καλλιεργούμενο κυρίως λόγω των επεμβάσεων κατεργασίας (Paoletti, 1999).

Η (Kladivko, 2001) αποδίδει τους μεγαλύτερους πληθυσμούς των γαιοσκωλήκων στην ακαλλιέργεια στις καλύτερες συνθήκες που επικρατούν στο έδαφος. Τα φυτικά υπολείμματα που παραμένουν στην επιφάνεια του εδάφους, παρέχουν τροφή στους γαιοσκώληκες για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ότι αν είχαν ενσωματωθεί στο έδαφος. Επίσης δημιουργούν ένα προστατευτικό στρώμα που δεν αφήνει το έδαφος να ξεραθεί στο τέλος της άνοιξης και να παγώσει στο τέλος του φθινοπώρου. Αυτό επιτρέπει στους γαιοσκώληκες να είναι δραστήριοι, να βρίσκουν τροφή και να αναπαράγονται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα την άνοιξη και το φθινόπωρο. Επιπλέον τα φυτικά υπολείμματα δίνουν στους γαιοσκώληκες περισσότερο χρόνο να εγκλιματιστούν στο καλοκαίρι ή στον χειμώνα και να κατεβούν σε μεγαλύτερα βάθη για να περάσουν την περίοδο που είναι αδρανής.

Οι περισσότερες έρευνες έχουν δείξει ότι η συμβατική κατεργασία μπορεί να μειώσει τον πληθυσμό και την βιομάζα των γαιοσκωλήκων αλλά το πιο σημαντικό είναι ότι μπορεί επίσης να αλλάξει και την σύνθεση των ειδών (Chan, 2001). Τα είδη που δημιουργούν βαθιές στοές στο έδαφος επηρεάζονται πολύ περισσότερο από τα είδη που ζουν κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (Shuster and Edwards, 2003).

Οι Clapperton et al. (1997) σε ένα μακροχρόνιο πείραμα 25 ετών στον Καναδά μελέτησαν τους πληθυσμούς των γαιοσκωλήκων σε αμειψισπορά σιτάρι - αγρανάπανση κάτω από ξηρικές συνθήκες. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι οι πληθυσμοί στην ακαλλιέργεια ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτεροι από την συμβατική κατεργασία.

Ο Rasmussen (1999) αναφέρει ότι ο Andersen σε ένα πείραμα στην Δανία μελέτησε τους πληθυσμούς των γαιοσκωλήκων στην ακαλλιέργεια και την συμβατική κατεργασία. Έξι χρόνια μετά την έναρξη του πειράματος βρήκε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερους πληθυσμούς στην ακαλλιέργεια από την συμβατική κατεργασία για όλα τα είδη που μετρήθηκαν.

Οι Tebrugge και During (1999) σε ένα μακροχρόνιο πείραμα 18 ετών στην Γερμανία μελέτησαν τρία συστήματα κατεργασίας του εδάφους (ακαλλιέργεια, μειωμένη κατεργασία και συμβατική κατεργασία) σε διαφορετικούς τύπους εδαφών. Στην ακαλλιέργεια και την μειωμένη κατεργασία οι πληθυσμοί των γαιοσκωλήκων ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτεροι από την συμβατική κατεργασία. Η

αυξημένη δραστηριότητα των γαιοσκωλήκων στην ακαλλιέργεια δημιούργησε ένα δίκτυο βιοπόρων που βελτίωσε τους ρυθμούς διήθησης του εδαφικού νερού.

Οι Kládinko et al. (1997), ερεύνησαν τον πληθυσμό των γαιοσκωλήκων και την κατανομή των ειδών τους σε ένα μακροχρόνιο πείραμα στις ΗΠΑ σε διάφορους τύπους εδαφών σε συμβατική κατεργασία και ακαλλιέργεια. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε αγρούς παραγωγών με αμειψισπορά καλαμπόκι - σόγια. Από τις 14 περιοχές που έγιναν οι μετρήσεις στις 8 η ακαλλιέργεια είχε μεγαλύτερους πληθυσμούς από την συμβατική κατεργασία, στις 4 οι πληθυσμοί ήταν περίπου ίσοι και στις 2 η ακαλλιέργεια είχε ελαφρώς μικρότερους πληθυσμούς.

Σε μια άλλη έρευνα στις ΗΠΑ οι Jordan et al. (1997), παρατήρησαν μεγαλύτερους πληθυσμούς γαιοσκωλήκων στην ακαλλιέργεια σε σχέση με την κατεργασία με καλλιεργητή βαρέως τύπου. Σύμφωνα με τους ερευνητές η κατεργασία με τον καλλιεργητή μπορεί να θανάτωσε μερικούς γαιοσκώληκες που βρίσκονταν στην επιφάνεια του εδάφους ή να τους ανάγκασε να μετακινηθούν σε μεγαλύτερο βάθος στο έδαφος. Στα τεμάχια της ακαλλιέργειας από την άλλη μεριά υπήρχε περισσότερη τροφή διαθέσιμη για τους γαιοσκώληκες και οι στοές τους δεν διαταράχτηκαν.

Οι Vavoulidou et al. (1999), σε μια έρευνα που έκαναν στη χώρα μας μελέτησαν τους πληθυσμούς και την βιομάζα των γαιοσκωλήκων σε συμβατική κατεργασία, μειωμένη κατεργασία και ακαλλιέργεια. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι η ακαλλιέργεια είχε μεγαλύτερους πληθυσμούς και βιομάζα γαιοσκωλήκων, ακολουθούσε η μειωμένη κατεργασία και τελευταία ήταν η συμβατική κατεργασία. Επίσης παρατήρησαν ότι υπήρχαν διαφορές ανάλογα με την εποχή της δειγματοληψίας. Το καλοκαίρι λόγω της χαμηλής υγρασίας και της υψηλής θερμοκρασίας ο πληθυσμός και η βιομάζα των γαιοσκωλήκων ήταν χαμηλά, ενώ στο τέλος του χειμώνα που συνθήκες ήταν κατάλληλες (υγρασία > 30% επί ξηρού και θερμοκρασία γύρω στους 10°C) οι πληθυσμοί αυξήθηκαν.

Στα συστήματα αειφορίας οι γαιοσκώληκες μπορούν να παίξουν σημαντικότερο ρόλο σε σχέση με την συμβατική κατεργασία στην λειτουργία των αγροτικών συστημάτων, λόγω της ικανότητάς τους να τροποποιούν το φυσικό περιβάλλον του εδάφους και να παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων (Chan, 2001).

2. 5. Επίδραση των συστημάτων κατεργασίας στην απόδοση

Οι αποδόσεις των φυτών που καλλιεργούνται με τα διάφορα συστήματα κατεργασίας του εδάφους επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως είναι ο τύπος του εδάφους, το κλίμα και το είδος της καλλιέργειας.

Η ακαλλιέργεια στα πρώτα χρόνια εφαρμογής της συνήθως δίνει μειωμένες αποδόσεις σε σχέση με την συμβατική κατεργασία. Όταν όμως εφαρμοστεί επί σειρά ετών, η δομή του εδάφους βελτιώνεται και η οργανική ουσία αυξάνεται με αποτέλεσμα οι αποδόσεις των φυτών να σταθεροποιούνται και να προσεγγίζουν τις αποδόσεις της συμβατικής κατεργασίας. Σε μερικές περιπτώσεις μάλιστα οι αποδόσεις των καλλιεργειών στη μειωμένη κατεργασία και στην ακαλλιέργεια ξεπερνούν τις αποδόσεις της συμβατικής κατεργασίας.

Η επιτυχία της ακαλλιέργειας και της μειωμένης κατεργασίας φαίνεται να είναι μεγαλύτερη όταν η υγρασία στο έδαφος είναι χαμηλή. Οι Buschiazzo et al. (1998), αναφέρουν ότι σε πειράματα που έγιναν στην Αργεντινή, τα συστήματα μειωμένης κατεργασίας και ακαλλιέργειας έδωσαν μεγαλύτερες ή παρόμοιες αποδόσεις στη σόγια το σιτάρι και το σόργο από την συμβατική κατεργασία. Οι αυξημένες αποδόσεις αποδόθηκαν στο γεγονός ότι με τα συστήματα μειωμένης κατεργασίας επιτυγχάνεται καλύτερη αξιοποίηση του εδαφικού νερού. Οι αποδόσεις του καλαμποκιού και του ηλίανθου όμως ήταν χαμηλότερες στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας. Στις καλλιέργειες αυτές παρατηρήθηκε έλλειψη αζώτου στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας η οποία είχε ως αποτέλεσμα την μείωση των αποδόσεων.

Οι Arshad et al. (1999), παρατήρησαν ότι η απόδοση του κριθαριού ήταν μεγαλύτερη στην ακαλλιέργεια από την συμβατική κατεργασία σε χρονιές με περιορισμένες βροχοπτώσεις ενώ συνέβαινε το αντίθετο σε χρονιές που η υγρασία στο έδαφος ήταν αρκετή.

Οι Hussain et al. (1999), σε ένα οκταετές πείραμα αμεινισποράς σόγιας-καλαμποκιού παρατήρησαν ότι η μέση απόδοση του καλαμποκιού ήταν παρόμοια σε τρία συστήματα κατεργασίας (συμβατική, κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή και ακαλλιέργεια. Η μέση απόδοση της σόγιας ήταν 15% υψηλότερη στην ακαλλιέργεια από τη συμβατική κατεργασία. Επίσης σε χρονιές με επαρκή υγρασία οι αποδόσεις του καλαμποκιού στην ακαλλιέργεια ήταν χαμηλότερες κατά 5-20% σε σχέση με την

συμβατική κατεργασία, ενώ στις ξηρές χρονιές συνέβαινε το αντίθετο και η ακαλλιέργεια είχε υψηλότερες αποδόσεις κατά 10-100%.

Σε ένα πείραμα στην Ισπανία οι Moreno et al. (1997), μελέτησαν την επίδραση της συμβατικής και της μειωμένης κατεργασίας σε αμειψισπορά σιταριού – ηλίανθου. Στο σύστημα της μειωμένης κατεργασίας οι καλλιέργειες εξοικονόμησαν νερό στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου, το οποίο χρησιμοποίησαν αργότερα στο στάδιο γεμίσματος του σπόρου. Η καλύτερη αξιοποίηση του εδαφικού νερού είχε ως αποτέλεσμα οι αποδόσεις των καλλιεργειών να είναι ελαφρά μεγαλύτερες στην μειωμένη κατεργασία σε σχέση με την συμβατική κατεργασία.

Οι Ekeberg and Riley (1997) μελέτησαν την επίδραση τεσσάρων συστημάτων κατεργασίας (συμβατική, κατεργασία με καλλιεργητή σε βάθη 12 cm και 6 cm και ελάχιστη κατεργασία) στην απόδοση διαφόρων καλλιεργειών (σιτηρά, πατάτα, ζαχαρότευτλα, είδη του γένους Brassica) σε ένα μακροχρόνιο πείραμα στη Νορβηγία. Το έδαφος ήταν ελαφριάς σύστασης πλούσιο σε οργανική ουσία. Τα ζιζάνια ελέγχθηκαν ικανοποιητικά με αμειψισπορές σε συνδυασμό με χημικά και καλλιεργητικά μέσα και δε αποτέλεσαν πρόβλημα για τις καλλιέργειες. Για τη διεξαγωγή των καλλιεργητικών εργασιών χρησιμοποιήθηκε ένας ελκυστήρας μικρού βάρους (μικρότερο από 3 τόνους), για την αποφυγή συμπίεσης του εδάφους. Οι αποδόσεις των δημητριακών (σιτάρι, κριθάρι, βρώμη) και της πατάτας ήταν 2-8% υψηλότερες στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας σε σχέση με την συμβατική κατεργασία. Το γεγονός αυτό αποδόθηκε στις ευνοϊκές φυσικές ιδιότητες που επικρατούσαν στο έδαφος και στην έλλειψη ανταγωνισμού από τα ζιζάνια. Η απόδοση των ζαχαρότευτλων ήταν μεγαλύτερη στην συμβατική κατεργασία. Η μειωμένη απόδοση των ζαχαρότευτλων στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας οφείλεται στις χαμηλότερες θερμοκρασίες που επικρατούσαν στο έδαφος. Η καλλιέργεια των ζαχαρότευτλων είναι πιο θερμοαπαιτητική από τις υπόλοιπες ενώ το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο βορειότερο όριο που καλλιεργείται το φυτό. Οι μεγαλύτερες αποδόσεις στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας επιτεύχθηκαν στα είδη του γένους Brassica. Το γεγονός αυτό συνδέθηκε με μειωμένη προσβολή από το μύκητα *Plasmodiophora brassicae* στα φυτά της μειωμένης κατεργασίας που πιθανώς να οφείλονταν σε ανταγωνισμό του μύκητα από ωφέλιμα παράσιτα.

Στα συστήματα της ακαλλιέργειας και της μειωμένης κατεργασίας παρατηρείται αύξηση του πληθυσμού των ζιζανίων που ανταγωνίζονται τις καλλιέργειες. Οι Miller and Dexter (1983), αναφέρουν ότι η απόδοση των

ζαχαρότευτλων στην ακαλλιέργεια ήταν λίγο μεγαλύτερη από την απόδοση στην συμβατική κατεργασία όταν δεν υπήρχε ανταγωνισμός από τα ζιζάνια. Οι Kouwenhoven et al. (2002), παρατήρησαν ότι μειώνοντας το βάθος του οργώματος στα 12-18 cm, μειώθηκε η απόδοση των ζαχαρότευτλων κατά 9% σε σχέση με την συμβατική κατεργασία που το όργωμα γινόταν σε βάθος 25-30 cm. Με την μείωση του βάθους οργώματος παρατηρήθηκε αύξηση των ζιζανίων και κυρίως των πολυετών.

Η επιτυχία της μειωμένης κατεργασίας και της ακαλλιέργειας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του εδάφους και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Σε εδάφη καλώς στραγγιζόμενα, γόνιμα, με μέση υγρασία κατά τη σπορά και καλώς θερμαινόμενα οι αποδόσεις των καλλιεργειών στην μειωμένη κατεργασία και στην ακαλλιέργεια είναι παραπλήσιες ή και μεγαλύτερες από την συμβατική κατεργασία. Αντίθετα όταν τα εδάφη είναι βαριά, υγρά, κακώς στραγγιζόμενα και κρύα κατά την σπορά οι αποδόσεις είναι χαμηλότερες. Επίσης οι αποδόσεις είναι πολύ μειωμένες στα συμπίεσμένα εδάφη (Τσατσαρέλης, 2000). Οι Hajabbasi and Hemmat (2000), μελέτησαν, σε ένα τετραετές πείραμα, την επίδραση διαφόρων μεθόδων κατεργασίας στην καλλιέργεια σιταριού σε ένα αργιλοπηλώδες έδαφος στο Ιράν. Η συμβατική κατεργασία είχε την μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με τις μεθόδους κατεργασίας που δεν προκαλούσαν αναστροφή το εδάφους. Η ακαλλιέργεια παρόλο που βελτίωσε την δομική σταθερότητα του εδάφους έδωσε την μικρότερη απόδοση από όλες τις μεθόδους κατεργασίας, λόγω της βαριάς σύστασης του εδάφους και της χαμηλής περιεκτικότητάς του σε οργανική ουσία. Οι Dick et al. (1991), επίσης διαπίστωσαν ότι στα εδάφη με καλή στράγγιση η ακαλλιέργεια δίνει μεγαλύτερες αποδόσεις στο καλαμπόκι σε σχέση με την συμβατική κατεργασία, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στα εδάφη με κακή στράγγιση. Μετά όμως από 18 συνεχή έτη εφαρμογής της ακαλλιέργειας παρατήρησαν ότι υπήρχε βελτίωση της απόδοσης στα εδάφη με κακή στράγγιση σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια ενώ στα εδάφη με καλή στράγγιση αναδείχθηκε ακόμη περισσότερο το πλεονέκτημα της ακαλλιέργειας σε σχέση με την συμβατική κατεργασία.

Οι Al Kaisi and Yin (2004) εγκατέστησαν πειράματα σε πέντε περιοχές της Iowa των ΗΠΑ από το 1978 έως το 2001, με σκοπό να διερευνήσουν την ανταγωνιστικότητα της ακαλλιέργειας σε σχέση με άλλες μεθόδους κατεργασίας (συμβατική, κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή, κατεργασία σε αναχώματα) στην καλλιέργεια του καλαμποκιού. Προκειμένου να εκτιμήσουν αν η ακαλλιέργεια

αποδίδει ικανοποιητικά στα πρώτα χρόνια εφαρμογής της, μέτρησαν την απόδοση και υπολόγισαν το οικονομικό αποτέλεσμα της καλλιέργειας σε χρονικά διαστήματα 4-5 ετών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στην ακαλλιέργεια υπήρχε μια μείωση της απόδοσης του καλαμποκιού σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους κατεργασίας κατά 5% σε αμειψισπορά καλαμποκιού-σόγιας και συχνά μεγαλύτερη για συνεχή καλλιέργεια καλαμποκιού. Παρόλα αυτά η ακαλλιέργεια είχε το ίδιο και μεγαλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα από τις άλλες μεθόδους κατεργασίας σε κάθε διάστημα 4-5 ετών και για όλη την περίοδο που διήρκεσε το πείραμα.

Σε μια άλλη έρευνα οι Anken et al. (2004), μελέτησαν τις μακροχρόνιες επιπτώσεις διαφόρων μεθόδων κατεργασίας (συμβατική, κατεργασία με καλλιεργητή, αβαθή κατεργασία, ακαλλιέργεια), σε τετραετή αμειψισπορά σιτάρι-καλαμπόκι-σιτάρι-ελαιοκράμβη, στην Ελβετία. Το πείραμα είχε διάρκεια 14 έτη και πραγματοποιήθηκε σε ένα αμμοπηλώδες έδαφος. Οι αποδόσεις των καλλιεργειών δεν είχαν διαφορές ανάμεσα στις μεθόδους κατεργασίας εκτός από την περίπτωση του καλαμποκιού σε ακαλλιέργεια που η μέση απόδοσή του μειώθηκε πάνω από 10% σε σχέση με την συμβατική κατεργασία.

Οι Hemmat and Escandari (2004), πραγματοποίησαν ένα τριετές πείραμα στο Ιράν, στο οποίο μελέτησαν την επίδραση τεσσάρων μεθόδων κατεργασίας σε αμειψισπορά σιταριού - ρεβιθιού κάτω από ξηρικές συνθήκες. Το πείραμα έγινε σε αργιλοπηλώδες έδαφος και οι μέθοδοι κατεργασίας ήταν συμβατική, μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή, ελάχιστη κατεργασία με ελαφρύ καλλιεργητή και ακαλλιέργεια. Η μεγαλύτερη απόδοση επιτεύχθηκε για το σιτάρι με το σύστημα της ελάχιστης κατεργασίας ενώ στην καλλιέργεια του ρεβιθιού με την ακαλλιέργεια. Οι αποδόσεις στη μειωμένη κατεργασία ήταν κατά 14 και 27% μεγαλύτερες από την συμβατική κατεργασία για το σιτάρι και τα ρεβίθια αντίστοιχα. Η μέση απόδοση του σιταριού στην ακαλλιέργεια και στην ελάχιστη κατεργασία ήταν κατά 27-31% μεγαλύτερη σε σχέση με την συμβατική κατεργασία. Η απόδοση των ρεβιθιών στην ακαλλιέργεια ήταν κατά 24-57% μεγαλύτερη από την απόδοση στις υπόλοιπες μεθόδους κατεργασίας.

Ο Arvidsson (1998), μελέτησε την επίδραση του βάθους κατεργασίας (σε συστήματα μειωμένης κατεργασίας) στο έδαφος και στην απόδοση του κριθαριού στην Σουηδία. Για λόγο αυτό πραγματοποίησε πειράματα σε δύο τύπους εδαφών (ιλοαργιλοπηλώδες και ιλοαργιλώδες) με πέντε μεθόδους κατεργασίας του εδάφους: όργωμα σε βάθος 20-25 cm, κατεργασία με καλλιεργητή σε βάθη 10,15 και

20 cm και κατεργασία με δισκοσβάρνα σε βάθος 10 cm. Παρατηρήθηκε αύξηση της απόδοσης με την αύξηση του βάθους κατεργασίας, παρόλο που τα περισσότερα έτη οι διαφορές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές. Η κατεργασία με δισκοσβάρνα έδωσε τις χαμηλότερες αποδόσεις, ενώ η κατεργασία με καλλιεργητή σε βάθος 20 cm έδωσε τις ίδιες περίπου αποδόσεις με το όργωμα.

Στην χώρα μας οι Gemtos et al. (1998) μελέτησαν την ανάπτυξη και την απόδοση του σιταριού μετά από βαμβάκι με συμβατική και ελάχιστη κατεργασία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στις μεθόδους ελάχιστης κατεργασίας οι αποδόσεις ήταν ίσες ή και μεγαλύτερες από την συμβατική κατεργασία. Επιπλέον στις μεθόδους της ελάχιστης κατεργασίας η κατανάλωση ενέργειας ήταν χαμηλότερη, χρησιμοποιήθηκε λιγότερη ανθρώπινη εργασία και λιγότερα μηχανήματα με αποτέλεσμα να συμπεριστεί το κόστος παραγωγής και να αυξηθεί το οικονομικό όφελος για τον παραγωγό. Ο Καβαλάρης (2004), παρατήρησε μείωση της απόδοσης βαμβακιού, των ζαχαρότευτλων και του καλαμποκιού στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας σε σχέση με την συμβατική κατεργασία, λόγω της αυξημένης πυκνότητας του εδάφους και του αυξημένου αριθμού ζιζανίων. Οι Λιθουργίδης και Τσατσαρέλης (2003), εφάρμοσαν ακαλλιέργεια και συμβατική κατεργασία για δύο συνεχόμενα έτη σε καλλιέργεια επίσπορου καλαμποκιού. Κατά τον πρώτο χρόνο διαπιστώθηκε μείωση της απόδοσης του καλαμποκιού στη ακαλλιέργεια σε σύγκριση με την συμβατική κατεργασία, ενώ δεύτερο χρόνο οι αποδόσεις στα δύο συστήματα δεν διέφεραν σημαντικά. Οι Μπιλάλης και άλλοι (2000), αναφέρουν ότι η απόδοση του βαμβακιού στην ακαλλιέργεια ήταν μεγαλύτερη από την συμβατική κατεργασία, λόγω της καλύτερης ανάπτυξης του ριζικού συστήματος των φυτών. Οι Mygdakos et al. (2000), δεν διαπίστωσαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην απόδοση του βαμβακιού μεταξύ της συμβατικής κατεργασίας, της μειωμένης κατεργασίας και της ακαλλιέργειας.

Από την βιβλιογραφία συνάγεται ότι οι μέθοδοι της μειωμένης κατεργασίας και της ακαλλιέργειας μπορούν να εφαρμοστούν με επιτυχία σε ένα ευρύ φάσμα εδαφικών τύπων και κλιματικών συνθηκών, αρκεί να δίνεται έμφαση στην διατήρηση της καλής δομής του εδάφους και στην αποτελεσματική αντιμετώπιση των ζιζανίων.

2. 6. Ανακεφαλαίωση και περιγραφή των στόχων του πειράματος

Από την ανάλυση της βιβλιογραφίας που παρατέθηκε προκύπτει ότι με τα συστήματα αειφορίας επιτυγχάνονται σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη για την γεωργία.

Στα περιβαλλοντικά οφέλη περιλαμβάνονται η προστασία του εδάφους από τη διάβρωση, η αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους, η βελτίωση της δομής του εδάφους, η διατήρηση της εδαφικής υγρασίας, η αύξηση της βιοποικιλότητας των εδαφών και η μείωση των εκπομπών του CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Παράλληλα με την εφαρμογή των συστημάτων αειφορίας προκύπτουν και οικονομικά οφέλη. Στα συστήματα αειφορίας πραγματοποιούνται λιγότερες επεμβάσεις με γεωργικά μηχανήματα για την προετοιμασία του εδάφους και τη σπορά με αποτέλεσμα την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για καύσιμα. Επιπλέον με την μείωση των καλλιεργητικών επεμβάσεων γίνεται χρήση λιγότερων μηχανημάτων και μειώνεται το κόστος των επισκευών και συντήρησης, απαιτείται λιγότερη ανθρώπινη εργασία και μειώνεται ο χρόνος προετοιμασίας του εδάφους. Όλα τα παραπάνω οδηγούν στη μείωση του κόστους παραγωγής.

Στα πρώτα χρόνια εφαρμογής των συστημάτων μειωμένης κατεργασίας και ακαλλιέργειας παρατηρείται συνήθως μείωση των αποδόσεων σε σχέση με τη συμβατική κατεργασία. Με την μακροχρόνια εφαρμογή τους όμως βελτιώνονται οι φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους με αποτέλεσμα οι αποδόσεις να πλησιάζουν και μερικές φορές να ξεπερνούν τις αποδόσεις της συμβατικής κατεργασίας.

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης ήταν να διερευνηθούν οι μακροχρόνιες επιπτώσεις των μεθόδων μειωμένης κατεργασίας και ακαλλιέργειας στο έδαφος και στην καλλιέργεια των ζαχαροτεύτλων, που είναι η πέμπτη σε σημασία αρόσιμη καλλιέργεια στην Ελλάδα. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε ένα πείραμα που έχει εγκατασταθεί το 1997 στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο, και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Οι μετρήσεις για την εργασία αυτή λήφθηκαν τον έβδομο χρόνο διεξαγωγής του πειράματος. Ειδικότερα μελετήθηκαν οι επιπτώσεις των μεθόδων κατεργασίας στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, στους δείκτες γονιμότητας του εδάφους, στο φύτευμα και στην απόδοση των ζαχαροτεύτλων.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Περιγραφή του πειράματος

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε ένα ήδη εγκατεστημένο πείραμα με σκοπό να διερευνηθούν οι μακροχρόνιες επιπτώσεις των μεθόδων μειωμένης κατεργασίας και ακαλλιέργειας στο έδαφος και στις διάφορες καλλιέργειες. Το πείραμα εγκαταστάθηκε στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο, το 1997 και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Οι μέθοδοι κατεργασίας που διερευνήθηκαν είναι η συμβατική κατεργασία, η μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή, η μειωμένη κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα, η μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα και η ακαλλιέργεια. Το έδαφος του πειραματικού αγρού είναι ιλυσωαργιλώδες (9,7% άμμος, 41% ιλύς και 49,2% άργιλος), με $pH=8$ και όρια πλαστικότητας : κατώτερο όριο στο 18,50 % και ανώτερο όριο στο 31,14% της υγρασίας επί υγρού βάρους εδάφους (Καβαλάρης, 2004).

Τα τρία πρώτα έτη διεξαγωγής του πειράματος (1997-98-99), εγκαταστάθηκαν αμειψισπορές βαμβακιού καλαμποκιού και ζαχαρότευτλων. Το 2000 η καλλιέργεια ήταν σιτάρι. Το 2001 έγινε αλλαγή της κατεύθυνσης κατεργασίας και η καλλιέργεια ήταν ζαχαρότευτλα (Σχήμα 3.1). Με την αλλαγή της κατεύθυνσης κατεργασίας έγινε δυνατή η σύγκριση των τεμαχίων με την ίδια κατεργασία επί πέντε συνεχή έτη με τεμάχια με την ίδια κατεργασία για τέσσερα έτη και το πέμπτο έτος συνδυασμό όλων των άλλων μεθόδων κατεργασίας. Το 2002 (Σχήμα 3.2) έγινε επαναφορά της κατεύθυνσης κατεργασίας στην αρχική και η καλλιέργεια ήταν καλαμπόκι. Το 2003 η καλλιέργεια ήταν ζαχαρότευτλα και το 2004 κριθάρι. Για την παρούσα εργασία λήφθηκαν μετρήσεις την έβδομη χρονιά διεξαγωγής του πειράματος, το έτος 2003 στην καλλιέργεια των ζαχαροτεύτλων. Οι διάφορες καλλιέργειες που εγκαταστάθηκαν κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος δίνονται στον Πίνακα 3.1.

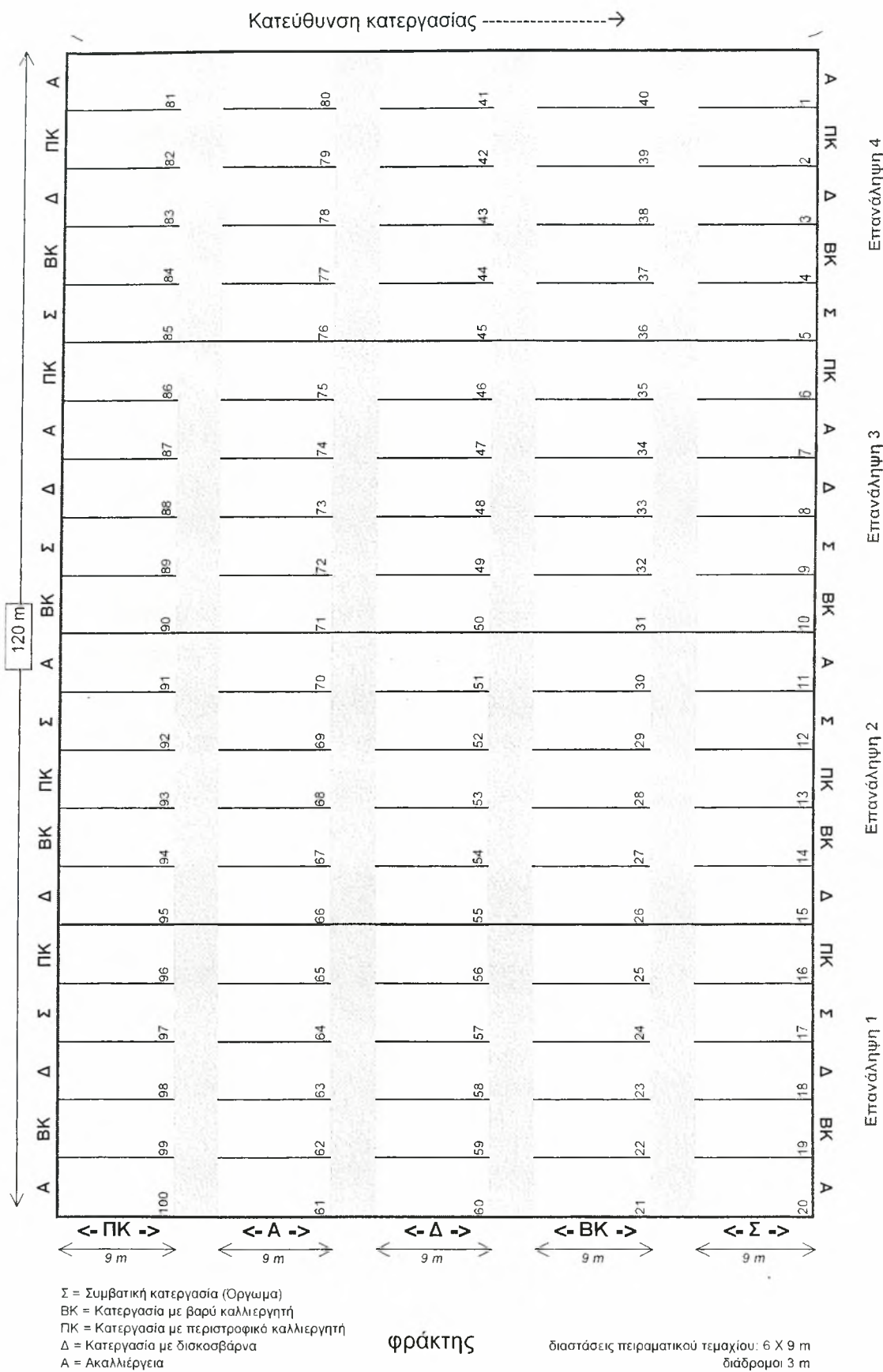
Το πειραματικό σχέδιο ήταν strip-plot design με δύο παράγοντες και τέσσερις επαναλήψεις. Η διάταξη των πειραματικών τεμαχίων φαίνεται στο σχήμα 3.2. Ο ένας παράγοντας ήταν οι πέντε μέθοδοι κατεργασίας που εφαρμόστηκαν το έτος 2003 (πρόσφατη κατεργασία). Ο άλλος παράγοντας ήταν οι ίδιες πέντε μέθοδοι

κατεργασίας που εφαρμόστηκαν το έτος 2001 (προηγούμενη κατεργασία) που έγινε η αλλαγή της κατεύθυνσης κατεργασίας. Το πείραμα είχε συνολικά $5 \times 5 \times 4 = 100$ πειραματικά τεμάχια. Τα τεμάχια είχαν διαστάσεις 6×9 m και περιελάμβαναν τις εξής μεθόδους κατεργασίας του εδάφους:

1. **Συμβατική κατεργασία (Σ)** : Πρωτογενής κατεργασία με όργωμα σε βάθος 0,25-0,30 m. Η δευτερογενής κατεργασία έγινε με ένα πέρασμα με περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα. Κατά την πρωτογενή κατεργασία δημιουργήθηκαν μεγάλοι βώλοι οι οποίοι στεγνώνοντας ήταν δύσκολο να τεμαχιστούν. Το περιστροφικό σκαπτικό προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθεί στην δευτερογενή κατεργασία μετά το όργωμα έναντι άλλων μηχανημάτων δευτερογενούς κατεργασίας διότι ήταν δυνατό να επιφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα με τον μικρότερο αριθμό επεμβάσεων.
2. **Μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή (BK)**: Πρωτογενής κατεργασία με ένα πέρασμα βαρύ καλλιεργητή στα 0,20-0,25 m και δευτερογενής κατεργασία με δύο περάσματα με δισκοσβάρνα.
3. **Μειωμένη κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα (HK)**: Κατεργασία του εδάφους με ένα πέρασμα με περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα σε βάθος 0,10-0,12 m
4. **Μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα (Δ)** : Κατεργασία του εδάφους με δύο περάσματα με δισκοσβάρνα σε βάθος 0,07-0,08 m.
5. **Ακαλλιέργεια (Α)** : Απευθείας σπορά σε ακατέργαστο έδαφος και καταστροφή της υπάρχουσας βλάστησης με glyphosate πριν το φύτευμα της καλλιέργειας.

Π.ίνακας 3.1. Καλλιέργειες που εγκαταστάθηκαν στο πείραμα από το 1997 μέχρι το 2004.

Έτος		Είδος καλλιέργειας
1 ^ο έτος	1997	Αμειψισπορές βαμβακιού καλαμποκιού και ζαχαρότευτλων
2 ^ο έτος	1998	
3 ^ο έτος	1999	
4 ^ο έτος	2000	Σιτάρι
Αλλαγή της κατεύθυνσης κατεργασίας του εδάφους		
5 ^ο έτος	2001	Ζαχαρότευτλα
Επαναφορά της κατεύθυνσης κατεργασίας		
6 ^ο έτος	2002	Καλαμπόκι
7 ^ο έτος	2003	Ζαχαρότευτλα
8 ^ο έτος	2004	Κρίθари



Σχήμα 3.2. Το πειραματικό σχέδιο του πειράματος το έτος 2003.

3. 2 Μηχανήματα κατεργασίας του εδάφους

Άροτρο. Στην συμβατική κατεργασία για το όργωμα χρησιμοποιήθηκε ένα άροτρο απλής αναστροφής. Διέθετε 4 υνιά με πλάτος κοπής 0,30 m. Το συνολικό πλάτος εργασίας του εργαλείου ήταν 1,2m και ζύγιζε 500kg.

Βαρύς καλλιεργητής. Ο βαρύς καλλιεργητής που χρησιμοποιήθηκε ήταν αναρτόμενος και περιελάμβανε τρεις σειρές από εύκαμπτα ελάσματα τύπου C ($2+3+2=7$ συνολικά) από διπλό μεταλλικό έλασμα ορθογωνικής διατομής (5x2cm) τα οποία προσδένονταν στο πλαίσιο μέσω ελατηρίων αποσβεστήρων. Τα ελάσματα έφερναν υνιά γενικής χρήσης. Οι μεταξύ τους αποστάσεις ήταν 30 cm ενώ το ελεύθερο ύψος του πλαισίου από την επιφάνεια του εδάφους ήταν 50 cm. Οι αποστάσεις μεταξύ των σειρών των ελασμάτων ήταν 70 cm. Το συνολικό πλάτος εργασίας του μηχανήματος ήταν 2 m και το βάρος του 370 kg.

Περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα. Το περιστροφικό σκαπτικό που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα ήταν αναρτόμενο και περιελάμβανε 8 κατακόρυφα στροφεία με 2 λεπίδες ύψους 20 cm και πλάτους 8 cm το καθένα. Το μηχάνημα λειτουργούσε στις 540 στρ/min στο PTO ενώ η σχέση μετάδοσης στα στροφεία ήταν 540/180. Η ρύθμιση του βάθους εργασίας γινόταν μέσω ενός οδοντωτού κυλίνδρου, διαμέτρου 0,36 cm με δόντια μήκους 0,08 m, που ακολουθούσε τα εργαλεία αναμόχλευσης του εδάφους. Το πλάτος εργασίας του μηχανήματος ήταν 2,5 m και το βάρος του 720 kg.

Δισκοσβάρνα. Η δισκοσβάρνα που χρησιμοποιήθηκε για τις πρωτογενείς και δευτερογενείς εργασίες ήταν διπλής ενέργειας συρόμενη. Κάθε άξονας περιελάμβανε 8 δίσκους διαμέτρου 0,42 m. Οι εμπρόσθιοι δίσκοι ήταν οδοντωτοί και οι οπίσθιοι λείοι. Οι γωνίες των αξόνων ρυθμίστηκαν στις 20°. Το πλάτος εργασίας ήταν 3m και το βάρος της 1050 kg. Οι τροχοί για την μεταφορά της έφεραν ελαστικά διαμέτρου 0,6 m και πλάτους 0,3 m.

Γεωργικός ελκυστήρας. Ο γεωργικός ελκυστήρας που χρησιμοποιήθηκε για την λειτουργία των μηχανημάτων είχε κίνηση στους τέσσερις τροχούς και ισχύ 110 Hp. Το συνολικό βάρος του μαζί με τα αντίβαρα ήταν 4200 kg με το 63% του βάρους κατανεμημένο στους οπίσθιους τροχούς και το 37% στους εμπρόσθιους. Η βάση των τροχών είχε μήκος 2,78 m. Τα οπίσθια ελαστικά είχαν διαστάσεις 18,4-38 in και τα

εμπρόσθια 13-28 in. Οι οπίσθιοι τροχοί είχαν διάμετρο 1,75 m και εμπρόσθιοι 1,35 m.

3.3 Καλλιεργητικές εργασίες

Κατεργασία του εδάφους. Οι επεμβάσεις της πρωτογενούς κατεργασίας πραγματοποιήθηκαν στο διάστημα 20-28/3/03. Οι κατεργασίες καθυστέρησαν εξαιτίας των πολλών βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Παρόμοια προβλήματα καθυστέρησης της πρωτογενούς κατεργασίας παρατηρήθηκαν σε όλη την περιοχή. Στα τεμάχια της συμβατικής κατεργασίας έγινε όργωμα σε βάθος 0,25-0,30 m, στα τεμάχια της μειωμένης κατεργασίας με βαρύ καλλιεργητή έγινε ένα πέρασμα με βαρύ καλλιεργητή σε βάθος 0,20-0,25 m, στα τεμάχια της μειωμένης κατεργασίας με περιστροφικό σκαπτικό έγινε ένα πέρασμα με περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα σε βάθος 0,10-0,12 m και στα τεμάχια της μειωμένης κατεργασίας με δισκοσβάρνα έγιναν δύο περάσματα με δισκοσβάρνα σε βάθος 0,07-0,08 m. Οι επεμβάσεις πραγματοποιήθηκαν σε επίπεδα υγρασίας πάνω από το κατώτερο όριο πλαστικότητας του εδάφους με αποτέλεσμα στα τεμάχια της συμβατικής κατεργασίας να δημιουργηθούν μεγάλοι βώλοι οι οποίοι στεγνώνοντας ήταν δύσκολο να τεμαχιστούν. Για το λόγο αυτό έγινε επέμβαση με περιστροφικό σκαπτικό στα τεμάχια της συμβατικής κατεργασίας τρεις μέρες μετά το όργωμα, ώστε να τεμαχιστούν οι μεγάλοι βώλοι. Το περιστροφικό σκαπτικό προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθεί στην δευτερογενή κατεργασία μετά το όργωμα έναντι άλλων μηχανημάτων δευτερογενούς κατεργασίας διότι ήταν δυνατό να επιφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα με τον μικρότερο αριθμό επεμβάσεων. Στην μέθοδο της μειωμένης κατεργασίας με βαρύ καλλιεργητή δεν δημιουργήθηκαν μεγάλοι βώλοι και η δευτερογενής κατεργασία έγινε με δύο περάσματα με δισκοσβάρνα. Στις μεθόδους της μειωμένης κατεργασίας με περιστροφικό σκαπτικό και με δισκοσβάρνα το έδαφος ήταν έτοιμο για σπορά και δεν έγινε δευτερογενής κατεργασία.

Λίπανση. Έγινε βασική λίπανση στις 2/04/03 με 9-9-9 μονάδες N-P-K. Το λίπασμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το 15-15-15. Η λίπανση ολοκληρώθηκε με την προσθήκη 2,5 μονάδων N με υδρολίπανση στις 3/7/03.

Σπορά. Η σπορά των τεύτλων πραγματοποιήθηκε στις 17/4/03. Το φύτευμα όμως απέτυχε λόγω των ιδιαίτερα ξηροθερμικών συνθηκών που επικράτησαν μετά τη

σπορά και χρειάστηκε επανασπορά. Για την καταστροφή των φυτών που είχαν φυτρώσει και των ζιζανίων, πραγματοποιήθηκε σε όλα τα τεμάχια πλην της ακαλλιέργειας, ένα πέρασμα με δισκοσβάρνα. Όσα φυτά είχαν φυτρώσει στα τεμάχια της ακαλλιέργειας και βρίσκονταν εκτός των γραμμών της καλλιέργειας μετά τη δεύτερη σπορά, καταστράφηκαν με το πρώτο σκάλισμα. Η επανασπορά των τεύτλων πραγματοποιήθηκε στις 20/5/03 με πνευματική σπαρτική μηχανή Gaspardo. Η ποικιλία ήταν η Ariette. Ο σπόρος τοποθετήθηκε σε αποστάσεις 0,50 m μεταξύ των γραμμών και 0,113 m επί της γραμμής (8,85 σπόροι στο μέτρο) και σε βάθος 0,02-0,03 m.

Αμέσως μετά τη σπορά πραγματοποιήθηκε σε όλα τα τεμάχια πότισμα με καταιονισμό. Την επόμενη μέρα έγινε ένα πέρασμα με κύλινδρο Croskill στα τεμάχια της ακαλλιέργειας για να έρθει σε καλύτερη επαφή ο σπόρος με το έδαφος. Επίσης πραγματοποιήθηκαν άλλα δύο ελαφρά ποτίσματα με καταιονισμό στις 25/5/03 και στις 29/5/03. Τα ποτίσματα σε συνδυασμό λίγες βροχοπτώσεις που έπεσαν στη περίοδο του φυτρώματος είχαν ως αποτέλεσμα να φυτρώσει ικανοποιητικά η καλλιέργεια αυτή τη φορά σε όλες τις μεθόδους κατεργασίας.

Καταστροφή ζιζανίων. Σε όλες τις μεταχειρίσεις πραγματοποιήθηκε στις 18/4/03 εφαρμογή των εξής προφυτωτικών ζιζανιοκτόνων: NORTON (ethophumesate) 50% σε ποσότητα 500 g/στρ., DUAL (metolachlor) 96% σε ποσότητα 80 g/στρ. Στην μεταχείριση της ακαλλιέργειας έγινε επιπλέον εφαρμογή ROUNDUP (glyphosate) σε ποσότητα 750 g/στρ. Στις 2/6/03 και στις 25/6/03 έγινε ψεκασμός με μικροδόσεις για τα ζιζάνια που βρίσκονταν σε νεαρό στάδιο. Εφαρμόστηκαν τα εξής σκευάσματα: BETANAL (phenmedipham) 50g/στρ., GOLTIX (metamitron) 50g/στρ., LONDREL (clopyralid) 50g/στρ., και SUNOIL (προσκολλητικό έλαιο) 50g/στρ. Στο δεύτερο ψεκασμό προστέθηκαν επιπλέον στο μείγμα 70 g/στρ. GALLANT'S (haloxyphop). Επίσης για την καταστροφή των ζιζανίων πραγματοποιήθηκαν και δύο σκαλίσματα με το χέρι στις 14/6/03 και στις 14/7/03.

Φυτοπροστασία Για την προστασία της φυτείας από την κερκόσπορα και από τα έντομα ακολουθήθηκε το πρόγραμμα ψεκασμών που εφαρμόζει η E.B.Z. Στις 30/6/03 έγινε ψεκασμός με TRIMASTAN (maneb 6% +TPTCA 9%) σε ποσότητα 320 g/στρ. και θείο 98% σε ποσότητα 480 g/στρ. Στις 16/7/03 έγινε ψεκασμός με IMPACT 12,5% (flutriafol) σε ποσότητα 50 g/στρ., DITHANE 80% (maneb) σε ποσότητα 240 g/στρ., θείο 98% σε ποσότητα 480 g/στρ. και το εντομοκτόνο SUMI-A 5% (esfenvalerate) σε ποσότητα 40 g/στρ. Στις 7/8/03 εφαρμόστηκαν τα σκευάσματα

: DITHANE 80% (maneb) σε ποσότητα 240 g/στρ., (candy) σε ποσότητα 30 g/στρ., CARPENDAZIM 50% (carpendazim) σε ποσότητα 50 g/στρ. και το εντομοκτόνο SUMI-A 5% (esfenvalerate) σε ποσότητα 40 g/στρ. Στις 25/8/03 εφαρμόστηκαν τα σκευάσματα : ARMURE (t-feniconazole 15% +t-propiconazole 15%) σε ποσότητα 30 g/στρ., DITHANE 80% (maneb) σε ποσότητα 240 g/στρ., θείο 98% σε ποσότητα 480 g/στρ. και το εντομοκτόνο SUMI-A 5% (esfenvalerate) σε ποσότητα 40 g/στρ.

Αρδεύσεις. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω έγιναν τέσσερα ποτίσματα για το φυτόμα με καταιονισμό στις 21/5/03, στις 26/5/03 και 29/5/03 και στις 3/6/03. Στη συνέχεια έγιναν οκτώ ποτίσματα, από τα οποία το πρώτο πότισμα έγινε με καταιονισμό στις 12/6/03 και επτά ποτίσματα με στάγδην άρδευση στις 25/6/03, 3/7/03, 11/7/03, 26/7/03, 6/8, 17/8 και 28/8. Συνολικά κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου εφαρμόστηκαν 420 m³ νερού ανά στρέμμα.

Συγκομιδή. Η συγκομιδή των τεύτλων πραγματοποιήθηκε στις 7/11/03 με μηχανή της E.B.Z. Δείγματα τεύτλων για τον υπολογισμό της απόδοσης συγκομίστηκαν με το χέρι πριν την συγκομιδή με την μηχανή. Τα δείγματα πάρθηκαν από όλα τα τεμάχια ως εξής: σε κάθε τεμάχιο συγκομίστηκε μια γραμμή μήκους 6m, ζυγίστηκαν ξεχωριστά οι ρίζες και οι κορυφές και έγινε αναγωγή της απόδοσης στο στρέμμα.

3.4. Μετρήσεις

3.4.1 Ξηρή φαινομενική πυκνότητα

Για τη μέτρηση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας λήφθηκαν εδαφικά δείγματα με ένα δειγματολήπτη που κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για το σκοπό αυτό (Εικόνα 1). Ο δειγματολήπτης λαμβάνει κυλινδρικά δείγματα διαμέτρου 44 mm και ύψους 0,25 m. Επειδή το έδαφος ήταν σκληρό σε μερικά τεμάχια (ιδίως στην ακαλλιέργεια) ο δειγματολήπτης έφτανε μέχρι το βάθος των 0,15 m. Για το λόγο αυτό προσδιορίστηκε η ξηρή φαινομενική πυκνότητα στα βάθη 0-0,05m, 0,05-0,10m και 0,10-0,15 m.

Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο και κόπηκαν σε μικρότερα δείγματα διαμέτρου 44 mm και ύψους 50 mm. Τα δείγματα ζυγίστηκαν για να προσδιοριστεί το υγρό βάρος τους και έγινε αποξήρανσή τους στους 104° C για 24 h. Μετά την ξήρανση ζυγίστηκαν ξανά έτσι ώστε να προσδιοριστεί το ξηρό τους βάρος. Η ξηρή φαινομενική πυκνότητα σε g/cm³ προσδιορίστηκε από την παρακάτω σχέση:

$$Db = \frac{m}{V}$$

όπου,

Db= ξηρή φαινομενική πυκνότητα, σε g/cm³

m= η μάζα του ξηρού εδάφους, σε g

V= ο όγκος του εδάφους, σε cm³

Συνολικά λήφθηκαν 2 μετρήσεις στις 25/7/03 και στις 23/10/03 σε όλα τα πειραματικά τεμάχια. Σε κάθε τεμάχιο λαμβάνονταν 3 δείγματα σε τυχαίες θέσεις μέσα στο τεμάχιο και υπολογιζόταν ο μέσος όρος.

Περιγραφή του εδαφικού δειγματολήπτη

Το σύστημα του δειγματολήπτη αποτελείται από τα εξής μέρη :

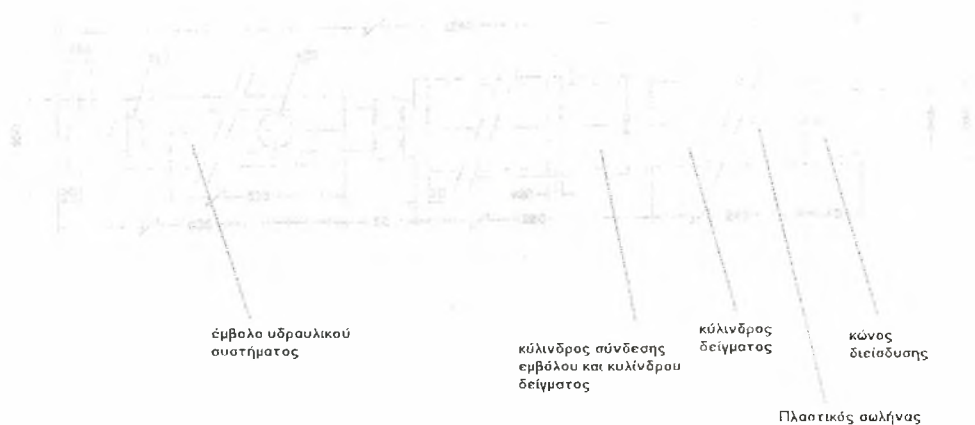
Δειγματολήπτης (Σχήμα 3.3, Εικόνα 3.1). Αποτελείται από ένα σωλήνα διαμέτρου 60 cm, ο οποίος λαμβάνει το δείγμα. Στο σωλήνα αυτό είναι κοχλιωμένος ένας

σωλήνας σε σχήμα κολουρου κώνου με μικρή διάμετρο 0,46 m που βοηθάει τον δειγματολήπτη να διεισδύει στο έδαφος. Στο εσωτερικό του σωλήνα που λαμβάνει το δείγμα τοποθετείται ένας πλαστικός σωλήνας από P.V.C. διαμέτρου 0,46 m στον οποίο τοποθετείται το δείγμα.(Εικόνα 3.2.). Καθώς ο δειγματολήπτης εισέρχεται στο έδαφος ο κώνος κόβει ένα κυλινδρικό δείγμα εδάφους το οποίο τοποθετείται στον πλαστικό σωλήνα. Ο πλαστικός σωλήνας λιπαίνεται για να αποφευχθούν οι τριβές μεταξύ του εδαφικού δείγματος και των τοιχωμάτων του σωλήνα, οι οποίες είναι δυνατόν να συμπιέσουν το δείγμα.

Πλαίσιο στήριξης. Περιλαμβάνει μία κοιλοδοκό μήκους 3 m που είναι παράλληλη προς το έδαφος πάνω στην οποία μπορεί να κινείται ο δειγματολήπτης δεξιά και αριστερά ώστε να παίρνει δείγματα σε διάφορα σημεία. Η κοιλοδοκός αναρτάται στα τρία σημεία σύνδεσης του γεωργικού ελκυστήρα με μια κατασκευή σχήματος Π.

Υδραυλικό σύστημα για την κίνηση του δειγματολήπτη. Είναι διπλής ενέργειας έτσι ώστε να κινείται σε δύο κατευθύνσεις. Η μία κίνηση είναι η ώθηση του δειγματολήπτη προς στο έδαφος για να λάβει το δείγμα και η άλλη κίνηση είναι η επαναφορά του δειγματολήπτη έξω από έδαφος. Το υδραυλικό σύστημα συνδέεται με τις υδραυλικές αναμονές του γεωργικού ελκυστήρα από τον οποίο παίρνει υδραυλική ισχύ.

Χειριστήριο. Είναι τριών θέσεων. Η μία θέση είναι κάτω για να εισέλθει ο δειγματολήπτης στο έδαφος, η άλλη θέση είναι πάνω ώστε να εξέλθει από το έδαφος και μία ουδέτερη.



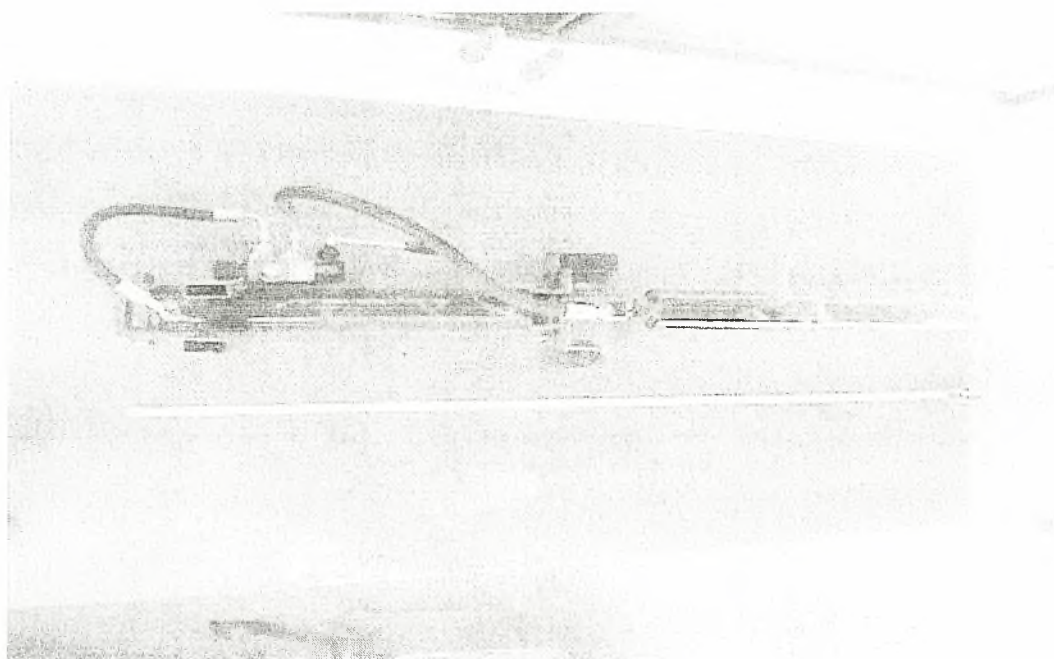
Σχήμα 3.3 Σχέδιο του εδαφικού δειγματολήπτη.

Διαδικασία μέτρησης

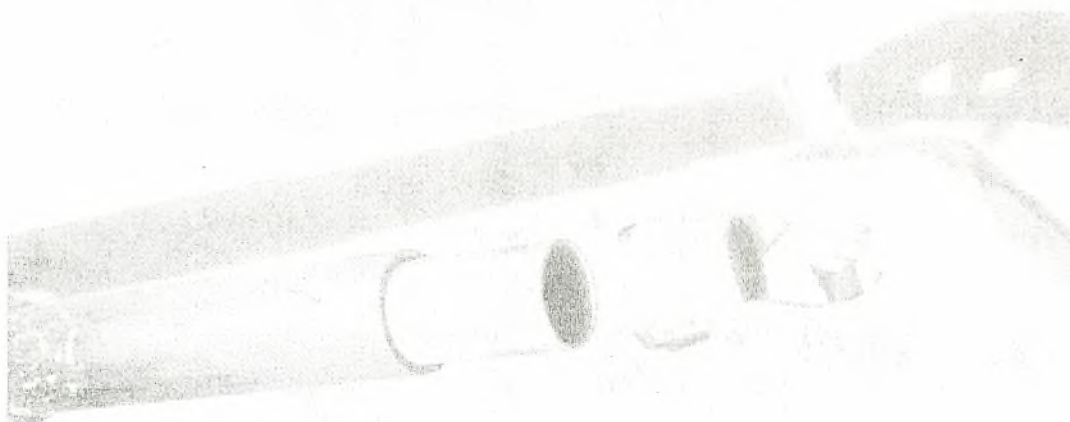
Η μέτρηση γίνεται ως εξής:

1. Καθαρίζεται η επιφάνεια του εδάφους.
2. Τοποθετείται ο δειγματολήπτης σε κατακόρυφη θέση.
3. Ξεβιδώνεται ο κώνος από τον δειγματολήπτη και τοποθετεί ο πλαστικός σωλήνας.
4. Δίνεται εντολή με το χειριστήριο να εισέλθει ο δειγματολήπτης στο έδαφος. Καθώς ο δειγματολήπτης εισέρχεται στο έδαφος ο κώνος κόβει ένα κυλινδρικό δείγμα εδάφους το οποίο τοποθετείται στον εσωτερικό πλαστικό σωλήνα.
5. Όταν ο δειγματολήπτης φτάσει στο επιθυμητό βάθος, διακόπτεται η κίνησή του και δίνεται εντολή για την έξοδό του από το έδαφος.
6. Στη συνέχεια λαμβάνεται ο πλαστικός σωλήνας που περιέχει το δείγμα μέσα από τον δειγματολήπτη.
7. Στο εργαστήριο εξάγονται τα εδαφικά δείγματα από τους πλαστικούς σωλήνες και γίνεται η ανάλυσή τους.

Ο δειγματολήπτης λειτούργησε ικανοποιητικά στο έδαφος και έφτανε στο επιθυμητό βάθος. Τα δείγματα λήφθηκαν εύκολα και γρήγορα. Τα εδαφικά δείγματα δεν συμπίεστηκαν διότι οι πλαστικοί σωλήνες λιπάνθηκαν πριν να ληφθεί το δείγμα και αποφεύχθηκαν οι τριβές μεταξύ των τοιχωμάτων του σωλήνα και του δείγματος. Οι πλαστικοί σωλήνες που περιείχαν τα εδαφικά δείγματα τοποθετήθηκαν σε κιβώτια και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο για ανάλυση. Η εξαγωγή των δειγμάτων από τους πλαστικούς σωλήνες έγινε εύκολα διότι τα δείγματα είχαν λίγο μικρότερη διάμετρο από τους πλαστικούς σωλήνες και διότι σωλήνες είχαν λιπανθεί όπως προαναφέρθηκε.



Εικόνα 3.1. Εδαφικός δειγματολήπτης με τον οποίο λήφθηκαν τα δείγματα για την μέτρηση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας , της υγρασίας του εδάφους και για τις δοκιμές της τριαξονικής φόρτισης.



Εικόνα 3.2. Τμήμα του εδαφικού εδαφολήπτη όπου διακρίνεται ο εσωτερικός πλαστικός σωλήνας που τοποθετείται το δείγμα και ο κωνικός σωλήνας που βοηθά στη διείσδυση του δειγματολήπτη στο έδαφος

3.4.2 Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση

Η αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση μετρήθηκε με ένα κωνικό διεισδυσιόμετρο (Σχήμα 3.4). Ο κώνος του διεισδυσιόμετρου είχε διάμετρο βάσης 12,83 mm και γωνία κορυφής 30°. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν χειροκίνητο και κατέγραφε αυτόματα τις μετρήσεις σε διαστήματα του 1cm και μέχρι το βάθος των 50 cm. Ο κώνος πιεζόταν στο έδαφος με μια ταχύτητα περίπου 30mm/s (ASAE S313.2, 1993).

Για την μετατροπή των ενδείξεων του οργάνου (kg) σε τιμές πίεσης (kPa), χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω σχέση:

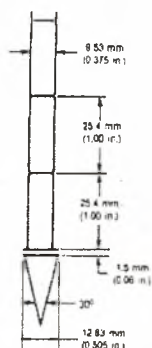
$$y = \frac{x * 9,81 / 2}{(3,14 * 12,83 * 12,83) / 4} * 100$$

όπου y = η αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση, σε kPa

x = η ένδειξη του οργάνου, σε kg

Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο λήφθηκαν μετρήσεις σε πέντε τυχαία σημεία, από τις οποίες υπολογίστηκε ο μέσος όρος για κάθε βάθος. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι για διαστήματα βάθους 5 cm. Όλες οι μετρήσεις λήφθηκαν την ίδια μέρα έτσι ώστε τα τεμάχια να έχουν την ίδια υγρασία, επειδή η αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους.

Συνολικά λήφθηκαν 4 μετρήσεις σε όλα τα πειραματικά τεμάχια. Η πρώτη έγινε στις 18/3/03 πριν τις κατεργασίες του εδάφους. Η δεύτερη έγινε κατά το στάδιο του φυτρώματος των τεύτλων στις 9/6/03. Η τρίτη πραγματοποιήθηκε πριν την συγκομιδή των τεύτλων, στις 27/10/03. Η τέταρτη μέτρηση έγινε μετά τη συγκομιδή, στις 28/11/03.



Σχήμα 3.4. Κωνικό διεισδυσιόμετρο για την μέτρηση της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση

3.4.3 Αντοχή του εδάφους στη διάτμηση

Η αντοχή του εδάφους προέρχεται από τις δυνάμεις συνοχής που αναπτύσσονται μεταξύ των εδαφικών σωματιδίων και από την τριβή μεταξύ των εδαφικών σωματιδίων όταν ολισθαίνουν το ένα πάνω στο άλλο και είναι ανάλογη με το κάθετη τάση που δέχεται το έδαφος. Το φαινόμενο περιγράφεται από τον νόμο του Coulomb (Σχήμα 3.5) ως εξής:

$$T_{\max} = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

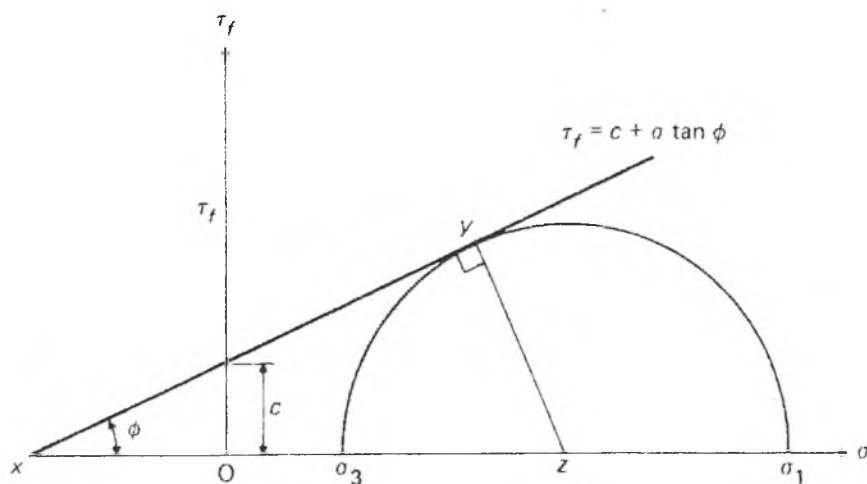
όπου:

τ_{\max} = μέγιστη διατμητική τάση (διατμητική δύναμη / επιφάνεια διάτμησης), όταν το έδαφος αστοχεί

c = συντελεστής συνοχής του εδάφους

ϕ = γωνία εσωτερικής τριβής

σ = κάθετη τάση (κάθετη δύναμη / επιφάνεια διάτμησης)



Σχήμα 3.5. Νόμος του Coulomb - κύκλος του Mohr. (Πηγή : Sutton, 1993)

Διαδικασία μέτρησης

Για την μέτρηση της αντοχής του εδάφους στη διάτμηση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της τριαξονικής φόρτισης. Η συσκευή που χρησιμοποιείται στη δοκιμή τριαξονικής φόρτισης φαίνεται διαγραμματικά στο Σχήμα 3.6. Αποτελείται από ένα θάλαμο στον οποίο τοποθετείται το εδαφικό δείγμα. Το δείγμα είναι κυλινδρικό με διάμετρο 44 mm και ύψος 100 mm . Κλείνεται σε μια λαστιχένια μεμβράνη και τοποθετείται στο θάλαμο που κλείνει στεγανά. Ο θάλαμος γεμίζεται με νερό και επιβάλλοντας πίεση στο νερό του θαλάμου αυτού, ένα σύστημα υδροστατικών πιέσεων εφαρμόζεται στο δείγμα προς όλες τις διευθύνσεις

Στην συνέχεια εφαρμόζεται στο δείγμα ένα κατακόρυφο φορτίο σε σταθερό ρυθμό μέσω ενός εμβόλου, μέχρι το δείγμα να θραυτεί. Οι οριζόντιες τάσεις που εφαρμόζονται στο δείγμα είναι ίσες με την υδροστατική πίεση του θαλάμου $\sigma_3=P$. Η κατακόρυφη τάση σ_1 είναι ίση με το άθροισμα της υδροστατικής πίεσης και της ορθής τάσης (κατακόρυφο φορτίο / επιφάνεια διάτμησης) όπως φαίνεται παρακάτω :

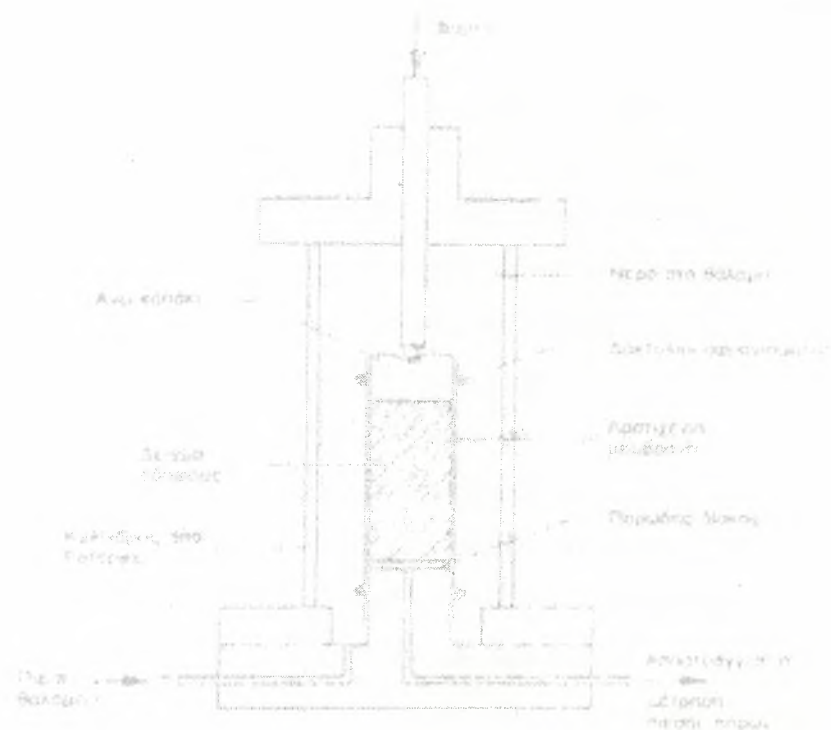
$$\sigma_1 = P + F/A$$

P = υδροστατική πίεση

F = κατακόρυφη δύναμη που ασκεί το έμβολο

A = επιφάνεια διατομής του δείγματος.

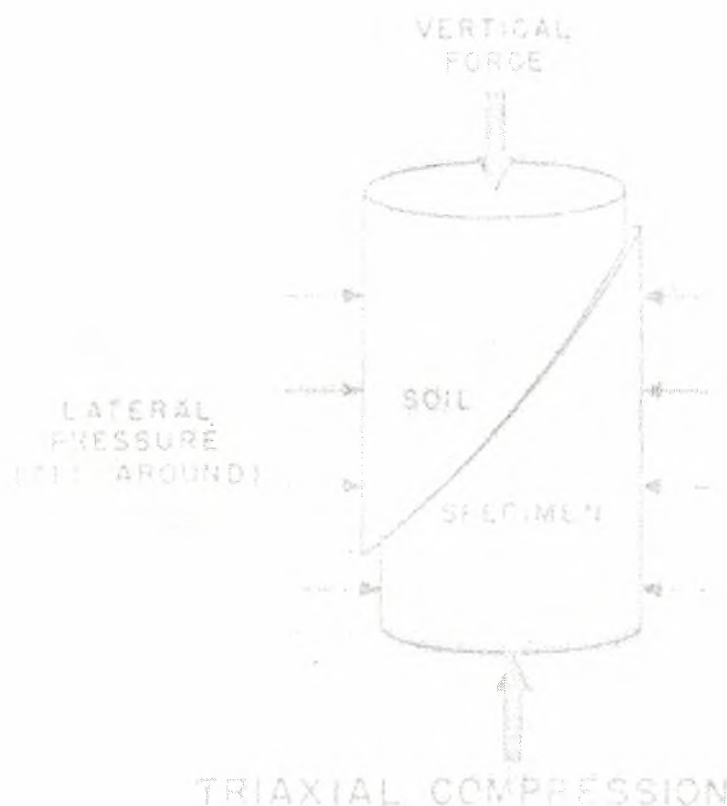
Υπό την επίδραση αυτών των δυνάμεων το δείγμα υπόκειται σε διάτμηση (Σχήμα 3.7). Λίγο πριν να θραυτεί το δείγμα έχουμε την μέγιστη διατμητική τάση που είναι η αντοχή του εδάφους στη διάτμηση. Η κατακόρυφη δύναμη που ασκείται από το έμβολο μετριέται συνεχώς μέσω μιας δυναμοκυψέλης και οι μετρήσεις αποθηκεύονται στον υπολογιστή.



Σχήμα 3.6. Συσκευή για δοκιμή τριαξονικής φόρτισης. (Πηγή : Milligan and Houlsby, 1989)

Η δοκιμασία επαναλαμβάνεται αρκετές φορές με δείγματα από το ίδιο πειραματικό τεμάχιο χρησιμοποιώντας διαφορετικές υδροστατικές πιέσεις στο θάλαμο. Στη συνέχεια γίνεται ο γραφικός υπολογισμός των συντελεστών c και ϕ της εξίσωσης Coulomb.

Για την λήψη των εδαφικών δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε ο δειγματολήπτης που χρησιμοποιήθηκε και για την μέτρηση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας. Συνολικά λήφθηκαν 2 μετρήσεις στις 23/10/03 και 25/11/03. Οι μετρήσεις έγιναν στα τεμάχια της συμβατικής κατεργασίας (5,12,17,19) και της ακαλλιέργειας (61,70,74,80) και σε κάθε τεμάχιο λήφθηκαν 5 δείγματα.



Σχήμα 3.7. Διάτμηση του εδάφους και δυνάμεις που εφαρμόζονται κατά την δοκιμή της τριαξονικής φόρτισης. (Πηγή : Sallberg, 1965)

Γραφικός προσδιορισμός των συντελεστών c, ϕ

Θεωρούμε ένα στοιχειώδη κύβο εδάφους με μοναδιαίες διαστάσεις, στον οποίο εξασκείται ένα σύστημα τάσεων. Είναι δυνατόν να βρεθεί ένας προσανατολισμός για τον στοιχειώδη κύβο τέτοιος ώστε να μην εξασκούνται διατμητικές τάσεις σε καμία από τις έδρες του. Σε αυτό τον προσανατολισμό σε ένα ζεύγος απέναντι εδρών θα ασκείται η μέγιστη τάση, που ονομάζεται κύρια ορθή τάση σ_1 , σε ένα άλλο ζεύγος εδρών θα ασκείται η ελάχιστη τάση, που ονομάζεται δευτερεύουσα ορθή τάση σ_3 και στο τρίτο ζεύγος εδρών θα ασκείται μια ενδιάμεση τάση σ_2 (Σχήμα 3.8).

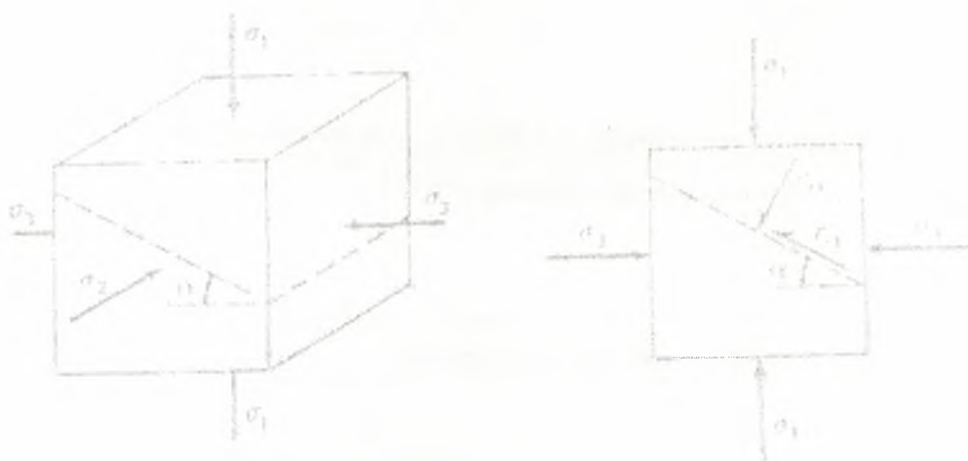
Σε ένα επίπεδο παράλληλο προς την διεύθυνση της σ_2 , το οποίο σχηματίζει γωνία α με την έδρα στην οποία είναι κάθετη η σ_1 θα ασκούνται και διατμητικές

τάσεις τ_α και κάθετες τάσεις σ_α . Οι Sowers και Sowers (1961) υπολόγισαν αυτές τις τάσεις όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\sigma_\alpha = (\sigma_1 + \sigma_3)/2 + ((\sigma_1 - \sigma_3)/2) \cos 2\alpha$$

$$\tau_\alpha = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 \sin 2\alpha$$

Οι δύο παραπάνω εξισώσεις ορίζουν ένα κύκλο με διάμετρο $\sigma_1 - \sigma_3$ και κέντρο $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$. Επομένως οι τάσεις μπορούν να παρασταθούν γραφικά με ένα κύκλο του Mohr, σε ένα σύστημα ορθογωνίων συντεταγμένων τοποθετώντας στον άξονα $x-x'$ τις ορθές τάσεις σ και στον άξονα $y-y'$ τις διατμητικές τάσεις τ . Το κέντρο του κύκλου έχει συντεταγμένες $((\sigma_1 + \sigma_3)/2, 0)$ και η ακτίνα του κύκλου έχει μέτρο $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.9.



Σχήμα 3.8. Δυνάμεις που ασκούνται σε ένα στοιχειώδη κύβο εδάφους με μοναδιαίες διαστάσεις. (Πηγή : Chancellor, 1994)

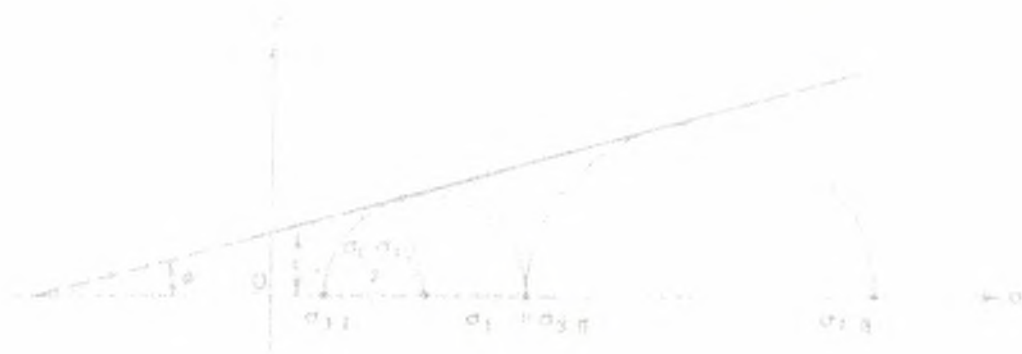


Σχήμα 3.9 Ο κύκλος του Mohr . (Πηγή : Chancellor, 1994)

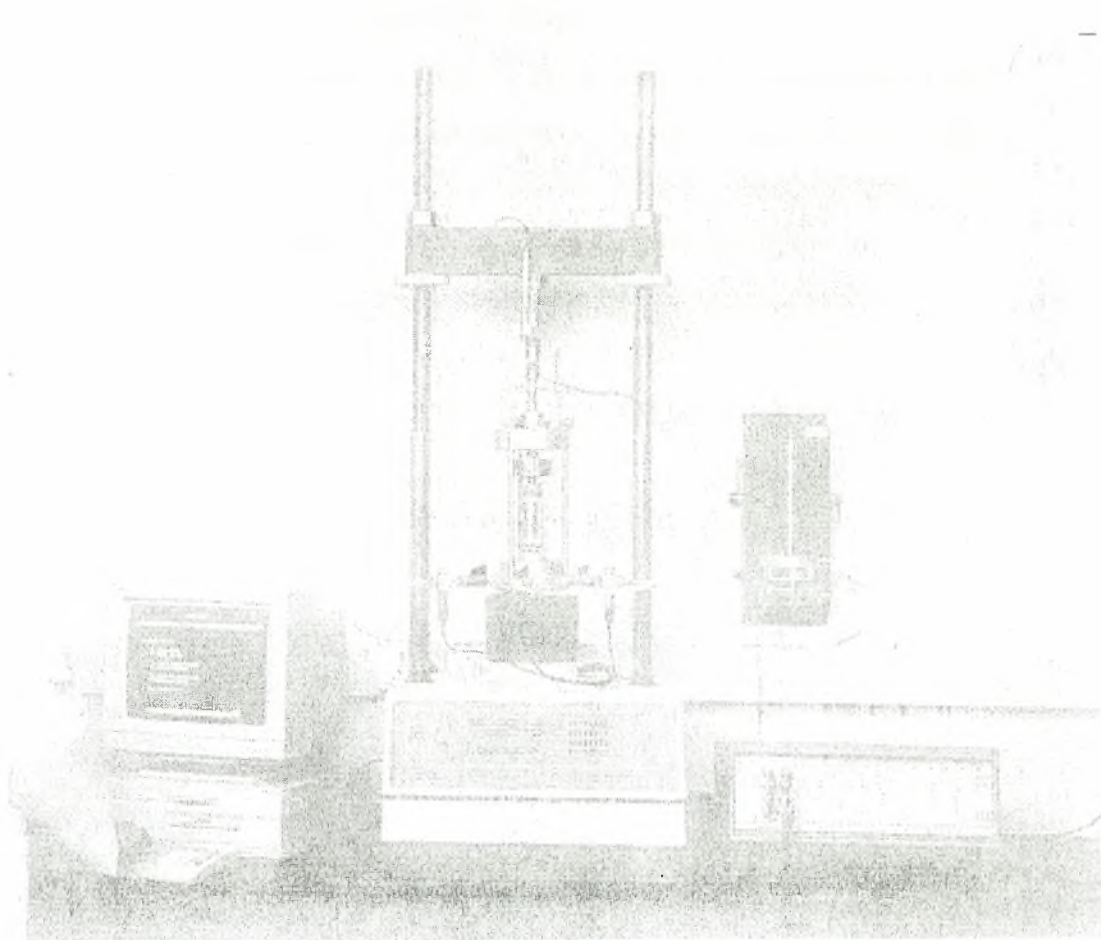
Με την δοκιμή της τριαξονικής φόρτισης είναι δυνατόν να φορτιστεί ένα εδαφικό δείγμα σε διάφορα επίπεδα τάσεων σ_1 και σ_3 . Η δυναμική κατάσταση του εδαφικού δείγματος όταν συμβεί η διάτμηση του μπορεί να παρασταθεί με ένα κύκλο Mohr. Με επανάληψη της δοκιμής στο ίδιο είδος εδάφους και σε διαφορετικά επίπεδα πίεσης θαλάμου σ_3 , δημιουργούνται διαδοχικοί κύκλοι Mohr. Στη συνέχεια κατασκευάζεται ευθεία που εφάπτεται στους κύκλους Mohr η οποία αντιπροσωπεύει την δυναμική κατάσταση του εδάφους (σ , τ) όταν συμβαίνει η διάτμηση (Σχήμα 3.10). Η εξίσωση της ευθείας αυτής είναι:

$$\tau_{\max} = c + \sigma \tan \phi$$

Από την κλίση της ευθείας ($\tan \phi$) υπολογίζεται η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ . Ο συντελεστής συνοχής c , υπολογίζεται από το σημείο που η ευθεία τέμνει τον άξονα yy' .



Σχήμα 3.10. Γραφική μέθοδος υπολογισμού των συντελεστών c και ϕ της εξίσωσης Mohr – Coulomb. (τ = διατμητική τάση, σ = κάθετη τάση) . (Πηγή : Chancellor, 1994)



Σχήμα 3.11. Σύστημα μέτρησης με την συσκευή της τριαξονικής φόρτισης. Αριστερά ο Η/Υ για την αποθήκευση των μετρήσεων, στο κέντρο η συσκευή τριαξονικής φόρτισης και δεξιά το σύστημα μετάδοσης της πίεσης στο νερό του θαλάμου της συσκευής.

3.4.4 Πληθυσμός και βιομάζα γαιοσκωλήκων στο έδαφος

Ο πληθυσμός και η βιομάζα των γαιοσκωλήκων αποτελούν ένδειξη της γονιμότητας του εδάφους. Η μέτρηση των γαιοσκωλήκων έγινε στις 9/3/03. Η Άνοιξη είναι η καταλληλότερη εποχή για την μέτρηση των γαιοσκωλήκων διότι το έδαφος έχει αρκετή υγρασία και κατάλληλη θερμοκρασία έτσι ώστε να αρχίσουν να είναι δραστήριοι ώστε να γίνει δυνατή η παρατήρησή τους. Οι μετρήσεις έγιναν στα τεμάχια που έγινε η ίδια κατεργασία επί 7 συνεχή έτη. Έτσι οι μετρήσεις έγιναν σε 20 τεμάχια και σε κάθε τεμάχιο λήφθηκε μία μέτρηση. Τα τεμάχια στα οποία λήφθηκαν οι μετρήσεις είναι τα 5, 9, 12, 17, 22, 27, 31, 37, 43, 48, 55, 58, 61, 70, 74, 80, 82, 86, 93, 96.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέθοδος της φορμαλδεΰδης η οποία περιγράφεται παρακάτω: αρχικά έγινε χάραξη μιας επιφάνειας $0,5\text{m} \times 0,5\text{m} = 0,25\text{m}^2$ πάνω στο πειραματικό τεμάχιο. Στη συνέχεια διαλύθηκαν 70ml φορμαλδεΰδης περιεκτικότητας 35% σε 12 l νερού (1 ποτιστήρι). Το διάλυμα της φορμαλδεΰδης εφαρμόστηκε με το ποτιστήρι πάνω στην επιφάνεια του εδάφους που χαράχθηκε. Το διάλυμα εφαρμόστηκε αργά ώστε να προλάβει να απορροφηθεί όλο από το έδαφος και να μην φύγει έξω από το τεμάχιο. Με την δράση του διαλύματος οι γαιοσκώληκες ανέβηκαν στην επιφάνεια του εδάφους μετά από μερικά λεπτά, όπου συλλέχθηκαν, μετρήθηκε ο αριθμός τους ανά τεμάχιο και τοποθετήθηκαν σε πλαστικά κεσεδάκια που περιείχαν λίγο νερό. Μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, ζυγίστηκαν και προσδιορίστηκε το βάρος τους ανά τεμάχιο. Τέλος έγινε αναγωγή του αριθμού και του βάρους των γαιοσκωλήκων ανά στρέμμα.

3.4.5. Φύτρωμα

Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο ορίστηκε μια γραμμή παρατηρήσεων της καλλιέργειας μήκους τεσσάρων μέτρων. Στη γραμμή αυτή καταγραφόταν σε τακτά διαστήματα δύο με τριών ημερών, από την στιγμή που έκαναν την εμφάνισή τους τα πρώτα φυτά μέχρι την ολοκλήρωση του φυτρώματος, ο αριθμός των φυτών που είχαν φυτρώσει. Οι μετρήσεις του φυτρώματος πραγματοποιήθηκαν στις 28/5, 1/6, 5/6, 9/6 και 13/6/2003.

3.4.6. Απόδοση

Στις 7/11/03 συγκομίστηκαν με το χέρι δείγματα τεύτλων για τον υπολογισμό της απόδοσης πριν την μηχανική συγκομιδή. Τα δείγματα πάρθηκαν από όλα τα τεμάχια ως εξής: σε κάθε τεμάχιο συγκομίστηκε μια γραμμή μήκους 6m, ζυγίστηκαν ξεχωριστά οι ρίζες και οι κορυφές και έγινε αναγωγή της απόδοσης στο στρέμμα.

3.5 Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων

Η στατιστική ανάλυση των μετρήσεων έγινε με το στατιστικό πρόγραμμα MSTATC Version 1.2.

Για τις μετρήσεις της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας, της αντίστασης στη διείσδυση του φυτρώματος και της απόδοσης λήφθηκαν δείγματα από όλα τα πειραματικά τεμάχια. Η ανάλυση παραλλακτικότητας έγινε σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο ομάδες με υπο-ομάδες με τέσσερις επαναλήψεις (split plot design). Στις κύριες ομάδες συμπεριλήφθηκαν οι κατεργασίες που πραγματοποιήθηκαν το έτος 2001 (προηγούμενη κατεργασία) και στις υπο-ομάδες οι κατεργασίες του έτους 2003 (πρόσφατη κατεργασία).

Για τις μετρήσεις σχετικά με τους γαιοσκώληκες λήφθηκαν δείγματα μόνο από τα τεμάχια που καλλιεργήθηκαν με την ίδια μέθοδο κατεργασίας επί 7 συνεχή έτη. Η ανάλυση παραλλακτικότητας έγινε σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο πλήρως τυχαιοποιημένων ομάδων (complete randomized block design).

Τέλος για την εκτίμηση της αντοχής του εδάφους στη διάτμηση λήφθηκαν δείγματα από τα τεμάχια που εφαρμόστηκε η συμβατική κατεργασία και η ακαλλιέργεια επί 7 συνεχή έτη. Η ανάλυση παραλλακτικότητας έγινε σύμφωνα με το σχέδιο των πλήρως τυχαιοποιημένων ομάδων.

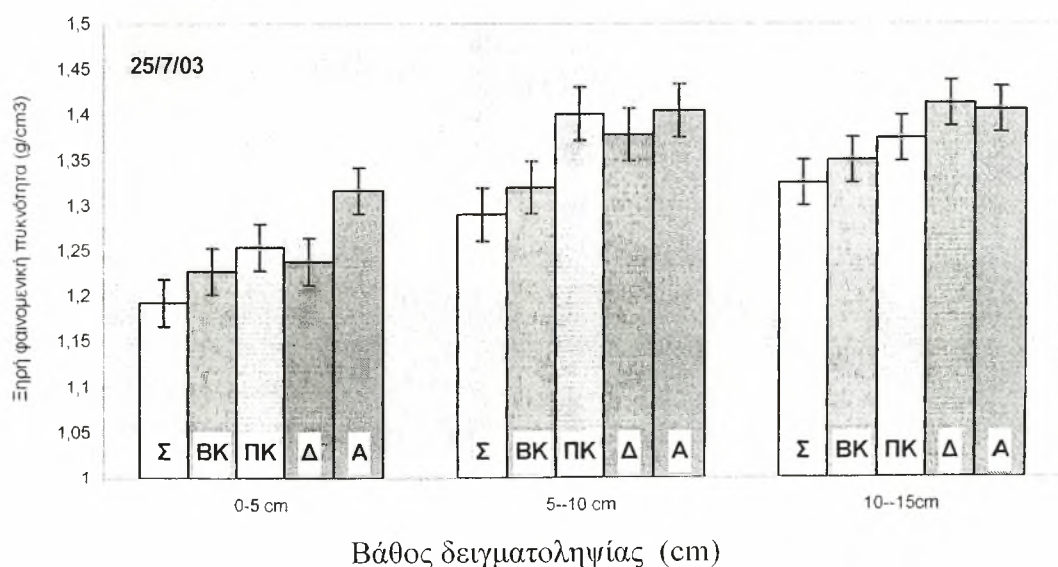
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Ξηρή φαινομενική πυκνότητα

Πραγματοποιήθηκαν δύο μετρήσεις της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας. Η πρώτη μέτρηση έγινε στις 25/7/03 και η δεύτερη στις 23/10/03. Οι μετρήσεις έγιναν σε τρία βάθη: 0-5cm, 5-10 cm και 10-15 cm

Από τα αποτελέσματα της πρώτης μέτρησης (Σχήμα 4.1, πίνακας 4.1) φαίνεται ότι η συμβατική κατεργασία είχε το πιο χαλαρό έδαφος. Ο βαρύς καλλιεργητής είχε λίγο μεγαλύτερη ξηρή φαινομενική πυκνότητα από συμβατική κατεργασία χωρίς η διαφορά τους να είναι στατιστικά σημαντική. Το άροτρο κατεργάζεται το έδαφος μέχρι τα 0,25-0,30 m και ο βαρύς καλλιεργητής μέχρι τα 0,20-0,25 m με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα χαλαρό στρώμα εδάφους που φτάνει μέχρι το βάθος κατεργασίας. Το περιστροφικό σκαπτικό και η δισκοσβάρνα που κατεργάζονται το έδαφος σε μικρότερο βάθος (στα 0,10-0,12 m το περιστροφικό σκαπτικό και στα 0,07-0,08 m η δισκοσβάρνα) παρουσίαζαν αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα σε σχέση με την συμβατική κατεργασία. Τέλος η ακαλλιέργεια όπου το έδαφος δεν δέχεται καμία κατεργασία, είχε το πιο συνεκτικό έδαφος από τις υπόλοιπες μεθόδους κατεργασίας.

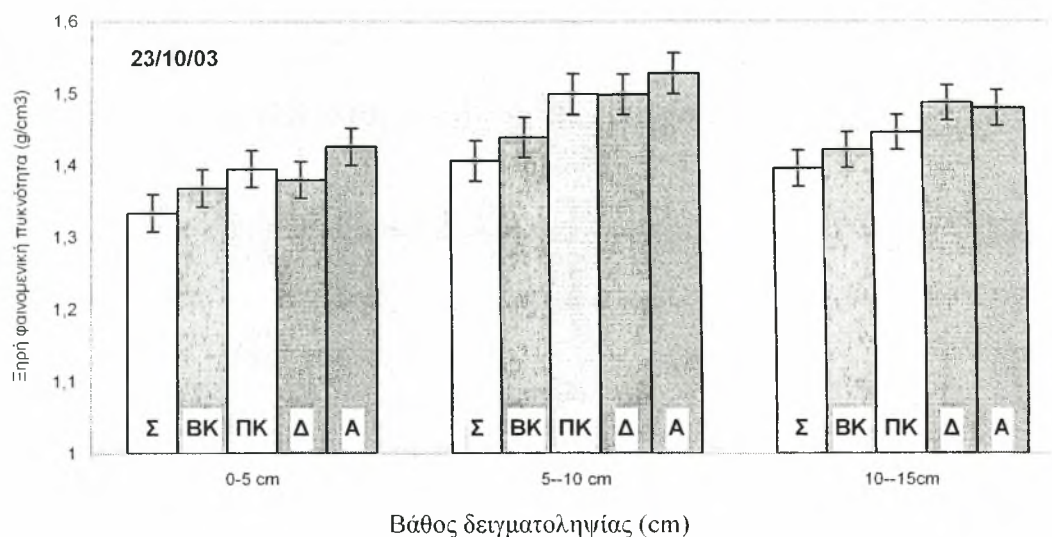
Πρόσφατη κατεργασία



Σχήμα 4.1. Ξηρή φαινομενική πυκνότητα του εδάφους στις 25/7/03 για την πρόσφατη κατεργασία. Σ: συμβατική κατεργασία, ΒΚ: βαρύς καλλιεργητής, ΠΚ: περιστροφικό σκαπτικό, Δ: δισκοσβάρνα, Α: ακαλλιέργεια. LSD για $P < 0,05$

Στη δεύτερη μέτρηση (Σχήμα 4.2, πίνακας 4.2), που πραγματοποιήθηκε μετά από τρεις περίπου μήνες από την πρώτη μέτρηση, παρατηρήθηκε αύξηση των τιμών της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας σε σχέση με την πρώτη μέτρηση για όλες τις μεθόδους κατεργασίας και για όλα τα βάθη δειγματοληψίας. Η αύξηση αυτή ήταν αναμενόμενη και οφείλεται στην δράση των καιρικών συνθηκών, στη διέλευση των μηχανημάτων καλλιεργητικών εργασιών και πιθανώς στην αύξηση της ρίζας των τεύτλων. Ανάμεσα στις μεθόδους κατεργασίας η ξηρή φαινομενική πυκνότητα είχε τις μικρότερες τιμές στην συμβατική κατεργασία και στον βαρύ καλλιεργητή. Η δισκοσβάρνα και το περιστροφικό σκαπτικό είχαν μεγαλύτερες τιμές από την συμβατική και τον βαρύ καλλιεργητή και η ακαλλιέργεια είχε τις μεγαλύτερες τιμές ξηρής φαινομενικής πυκνότητας

Πρόσφατη κατεργασία



Σχήμα 4.2. Ξηρή φαινομενική πυκνότητα του εδάφους στις 25/7/03 για την πρόσφατη κατεργασία. Σ: συμβατική κατεργασία, BK: βαρύς καλλιεργητής, ΠΚ: περιστροφικό σκαπτικό, Δ: δισκοσβάρνα, Α: ακαλλιέργεια. Οι γραμμές δείχνουν την LSD για $P < 0,05$.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι μέθοδοι κατεργασίας του εδάφους που μελετήθηκαν είχαν σημαντική επίδραση στην ξηρή φαινομενική πυκνότητα. Μειώνοντας την ένταση και το βάθος κατεργασίας διαπιστώθηκε αύξηση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σύμφωνα με τα αποτελέσματα πολλών ερευνητών που αναφέρουν αύξηση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας του εδάφους με την μείωση της έντασης κατεργασίας (Tebrugge και During (1999), Salinas-Garcia et al. (1997), Barzegar et al. (2003)). Ωστόσο μετά από επτά χρόνια από την εγκατάσταση του πειράματος παρατηρείται μια μικρή μείωση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας στην ακαλλιέργεια, η οποία στα πρώτα έτη του πειραματισμού είχε τιμές κατά μέσο όρο γύρω στο $1,6 \text{ g/cm}^3$ (Καβαλάρης, 2004). Το γεγονός αυτό δείχνει ότι ίσως έχει αρχίσει μια βελτίωση της δομής του εδάφους στην ακαλλιέργεια η οποία οφείλεται στην αύξηση της οργανικής ουσίας (Gemtos et al., 2002) και στην ανάπτυξη ενός δικτύου στοών από την αυξημένη δραστηριότητα των γαιοσκωλήκων και από την αποσύνθεση των ριζών.

Πίνακας 4.1. Ξηρή φαινομενική πυκνότητα του εδάφους σε g/cm³ σε βάθη 0 –5 cm , 5-10 cm και 10-15 cm, στις 25/7/03.

Πρόσφατη κατεργασία	Προηγούμενη κατεργασία	Βάθος (cm)		
		0-5	5-10	10-15
<i>Σ</i>	<i>Σ</i>	1,22	1,27	1,30
	<i>ΒΚ</i>	1,18	1,23	1,31
	<i>ΠΚ</i>	1,20	1,33	1,34
	<i>Δ</i>	1,15	1,22	1,31
	<i>Α</i>	1,23	1,41	1,38
<i>Μ.Ο.</i>		1,20	1,29	1,33
<i>ΒΚ</i>	<i>Σ</i>	1,22	1,34	1,31
	<i>ΒΚ</i>	1,23	1,27	1,35
	<i>ΠΚ</i>	1,25	1,35	1,32
	<i>Δ</i>	1,20	1,29	1,34
	<i>Α</i>	1,24	1,35	1,44
<i>Μ.Ο.</i>		1,23	1,32	1,35
<i>ΠΚ</i>	<i>Σ</i>	1,30	1,41	1,36
	<i>ΒΚ</i>	1,29	1,42	1,33
	<i>ΠΚ</i>	1,26	1,38	1,33
	<i>Δ</i>	1,19	1,37	1,39
	<i>Α</i>	1,24	1,43	1,46
<i>Μ.Ο.</i>		1,26	1,40	1,37
<i>Δ</i>	<i>Σ</i>	1,24	1,37	1,35
	<i>ΒΚ</i>	1,28	1,32	1,39
	<i>ΠΚ</i>	1,19	1,38	1,38
	<i>Δ</i>	1,23	1,38	1,46
	<i>Α</i>	1,25	1,44	1,49
<i>Μ.Ο.</i>		1,24	1,38	1,41
<i>Α</i>	<i>Σ</i>	1,33	1,41	1,39
	<i>ΒΚ</i>	1,30	1,43	1,40
	<i>ΠΚ</i>	1,31	1,33	1,35
	<i>Δ</i>	1,35	1,41	1,46
	<i>Α</i>	1,30	1,44	1,44
<i>Μ.Ο.</i>		1,32	1,40	1,41
<i>CV (%)</i>		6,56	6,80	5,84
<i>LSD</i> _{0,05} για προηγούμενη κατεργασία		ns	ns	0,05
<i>LSD</i> _{0,05} για πρόσφατη κατεργασία		0,05	0,06	0,05
<i>LSD</i> _{0,05} για αλληλεπίδραση		ns	ns	ns

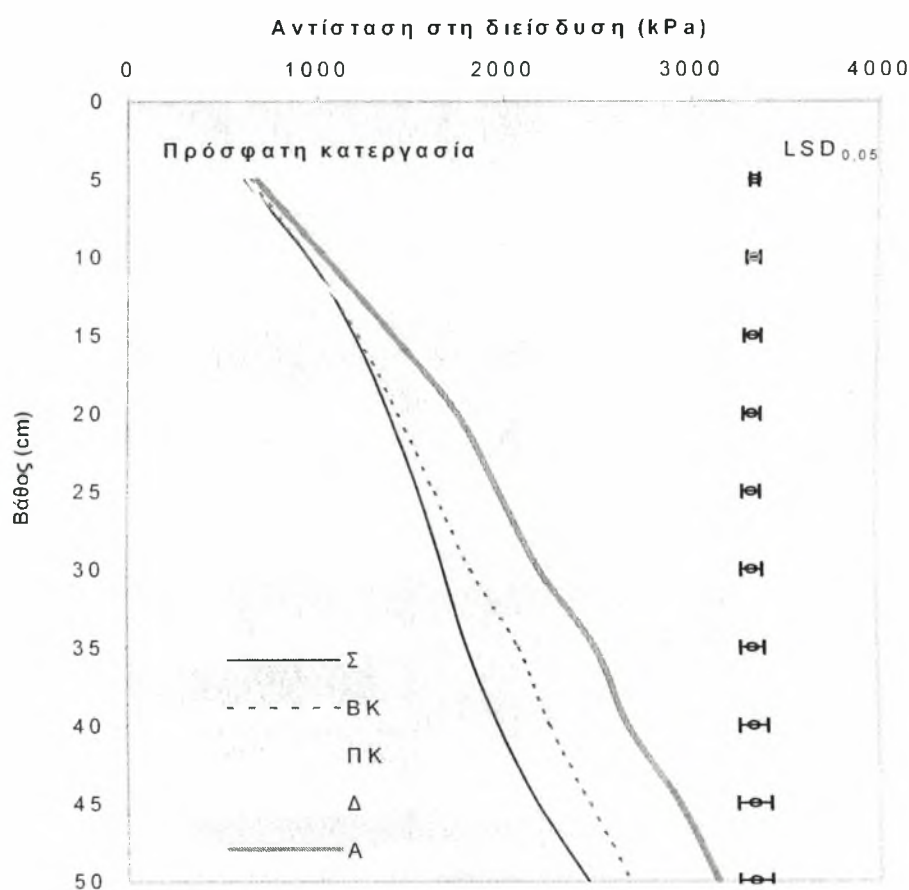
Πίνακας 4.2. Ξηρή φαινομενική πυκνότητα του εδάφους σε g/cm³, σε βάθη 0 –5 cm, 5-10 cm και 10-15 cm, στις 23/10/03.

Πρόσφατη κατεργασία	Προηγούμενη κατεργασία	Βάθος (cm)		
		0-5	5-10	10-15
<i>Σ</i>	Σ	1,31	1,35	1,35
	ΒΚ	1,30	1,35	1,43
	ΠΚ	1,33	1,45	1,44
	Δ	1,36	1,38	1,32
	Α	1,36	1,50	1,44
<i>M.O.</i>		1,33	1,41	1,40
<i>ΒΚ</i>	Σ	1,32	1,42	1,36
	ΒΚ	1,36	1,39	1,47
	ΠΚ	1,38	1,47	1,42
	Δ	1,41	1,46	1,35
	Α	1,38	1,45	1,50
<i>M.O.</i>		1,37	1,44	1,42
<i>ΠΚ</i>	Σ	1,39	1,50	1,42
	ΒΚ	1,42	1,51	1,45
	ΠΚ	1,38	1,50	1,43
	Δ	1,40	1,49	1,41
	Α	1,37	1,50	1,52
<i>M.O.</i>		1,39	1,50	1,45
<i>Δ</i>	Σ	1,33	1,45	1,40
	ΒΚ	1,41	1,45	1,51
	ΠΚ	1,32	1,50	1,48
	Δ	1,45	1,55	1,47
	Α	1,39	1,54	1,56
<i>M.O.</i>		1,38	1,50	1,48
<i>Α</i>	Σ	1,40	1,50	1,45
	ΒΚ	1,43	1,57	1,52
	ΠΚ	1,43	1,45	1,45
	Δ	1,43	1,58	1,47
	Α	1,44	1,54	1,50
<i>M.O.</i>		1,43	1,53	1,48

<i>CV (%)</i>	<i>5,90</i>	<i>6,09</i>	<i>5,48</i>
<i>LSD</i> _{0,05} για προηγούμενη κατεργασία	ns	ns	0,05
<i>LSD</i> _{0,05} για πρόσφατη κατεργασία	0,05	0,06	0,05
<i>LSD</i> _{0,05} για αλληλεπίδραση	ns	ns	ns

4.2 Αντίσταση στη διείσδυση

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά τέσσερις μετρήσεις αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση. Η πρώτη έγινε στις 18/3/2003 πριν την κατεργασία του εδάφους. Η δεύτερη έγινε στις 9/6/2003, στο φύτευμα των τεύτλων. Η τρίτη έγινε πριν την συγκομιδή των τεύτλων, στις 27/10/03. Η τέταρτη έγινε μετά την συγκομιδή, στις 28/11/03.



Σχήμα 4.3. Αντίσταση στη διείσδυση στις 18/3/03. Σ: συμβατική κατεργασία, BK: βαρύς καλλιεργητής, ΠΚ: περιστροφικό σκαπτικό, Δ: δισκοσβάρνα, Α: ακαλλιέργεια.

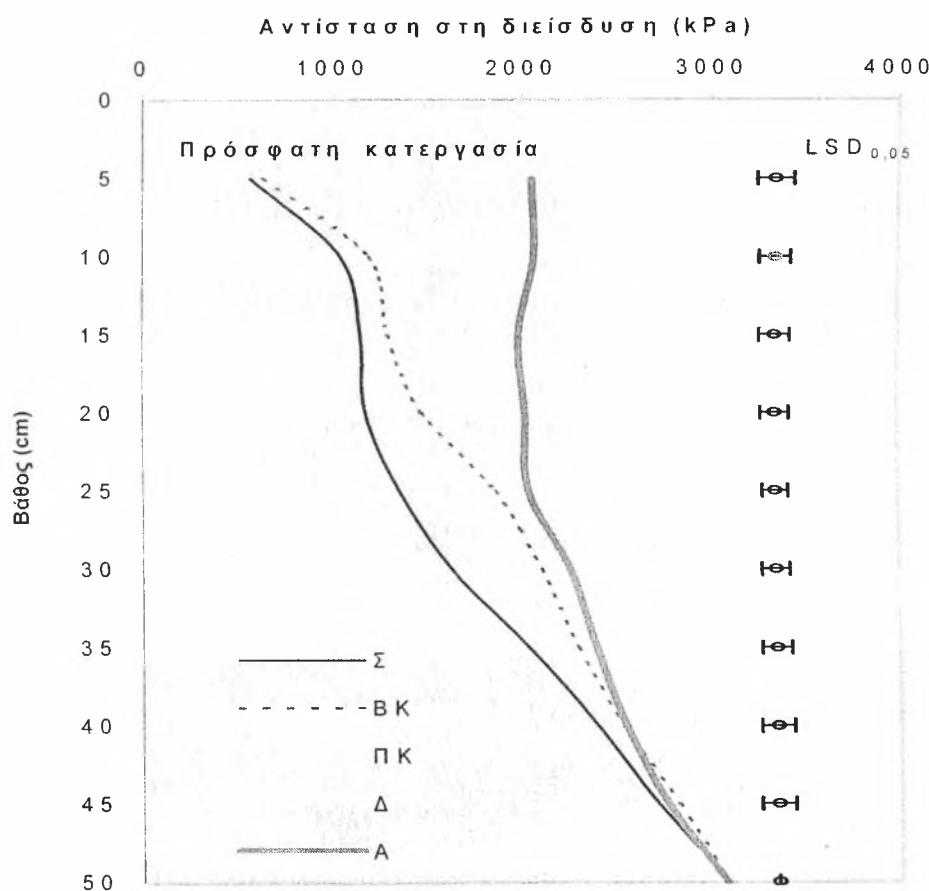
Στην πρώτη μέτρηση (Σχήμα 4.3, πίνακας 4.3) παρατηρούμε ότι υπάρχουν διαφορές μεταξύ των μεθόδων κατεργασίας. Η συμβατική κατεργασία και ο βαρύς καλλιεργητής έχουν τις μικρότερες τιμές και οι υπόλοιπες μέθοδοι παρουσιάζουν αυξημένες τιμές κάτω από το βάθος των 0,10 m. Η συμβατική κατεργασία και ο βαρύς καλλιεργητής δεν παρουσιάζουν διαφορές στην αντίσταση του εδάφους στη

διείσδυση μέχρι το βάθος των 0,25 m που φτάνει ο βαρύς καλλιεργητής. Από 0,25-0,50 m ο βαρύς καλλιεργητής έχει μεγαλύτερη αντίσταση στη διείσδυση από τη συμβατική κατεργασία. Το περιστροφικό σκαπτικό, η δισκοσβάρνα και η ακαλλιέργεια έχουν παραπλήσιες τιμές μεταξύ τους οι οποίες είναι αυξημένες σε σχέση με την συμβατική κατεργασία κάτω από το βάθος των 0,10 m. Αυτό είναι αναμενόμενο διότι οι κατεργασίες αυτές, εκτός της ακαλλιέργειας φτάνουν μέχρι αυτό το βάθος περίπου.

Πίνακας 4.3 Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση σε kPa στις 18/3/03.

Πρόσφατη κατεργασία	Προηγούμενη κατεργασία	Βάθος (cm)									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Σ	Σ	853	1144	1258	1356	1546	1684	1901	1964	2109	2375
	ΒΚ	585	932	1285	1508	1657	1774	1932	2065	2223	2446
	ΠΚ	466	865	1212	1403	1582	1707	1766	1933	2089	2365
	Δ	634	1006	1161	1380	1511	1614	1669	1928	2133	2323
	Α	581	837	1115	1327	1484	1677	1820	2029	2379	2746
M.O.		624	957	1206	1395	1556	1691	1818	1984	2187	2451
ΒΚ	Σ	687	1102	1256	1451	1635	1810	2081	2240	2333	2539
	ΒΚ	614	863	1170	1409	1653	1901	2159	2340	2555	2758
	ΠΚ	691	1053	1377	1572	1742	1905	2167	2291	2566	2727
	Δ	589	902	1168	1452	1643	1915	2116	2275	2481	2699
	Α	690	868	1135	1325	1529	1660	1947	2121	2368	2629
M.O.		654	957	1221	1442	1640	1838	2094	2253	2461	2670
ΠΚ	Σ	708	1020	1464	1842	2127	2399	2596	2760	2977	3171
	ΒΚ	626	864	1251	1622	1963	2232	2442	2832	3070	3247
	ΠΚ	584	928	1334	1784	2039	2360	2547	2887	3163	3382
	Δ	610	889	1258	1657	1988	2232	2467	2785	3077	3368
	Α	650	880	1173	1411	1562	1776	2087	2398	2738	3097
M.O.		636	916	1296	1663	1935	2200	2428	2732	3005	3253
Δ	Σ	796	1293	1692	1970	2165	2374	2479	2627	2841	2903
	ΒΚ	668	988	1308	1689	2001	2307	2562	2570	2696	3071
	ΠΚ	749	1225	1710	1992	2190	2437	2566	2741	2934	3109
	Δ	701	1177	1739	2031	2222	2399	2543	2653	2807	2901
	Α	722	927	1173	1406	1588	1852	2085	2289	2455	2617
M.O.		727	1122	1524	1817	2033	2274	2447	2576	2747	2920
Α	Σ	788	1187	1648	1971	2211	2359	2580	2714	2915	3157
	ΒΚ	660	926	1283	1715	2048	2227	2579	2792	3083	3187
	ΠΚ	654	1108	1546	1958	2185	2449	2617	2699	2966	3191
	Δ	599	1089	1518	1885	2077	2261	2584	2819	3089	3348
	Α	723	917	1091	1302	1432	1734	2139	2302	2650	2823
M.O.		685	1046	1417	1766	1991	2206	2500	2665	2941	3141
CV (%)		11,75	11,40	10,80	9,11	8,25	8,68	8,83	9,73	10,40	9,45
LSD _{0,05} για πρόσφατη κατεργασία		49,3	71,9	90,9	93	95,4	111,8	125,7	150	175,2	172,2
LSD _{0,05} για προηγούμενη κατεργασία		49,3	71,9	90,9	93	95,4	111,8	125,7	150	ns	ns
LSD _{0,05} για αλληλεπίδραση		110,3	ns	203,1	207,9	213,2	250,1	ns	ns	ns	ns

Τα αποτελέσματα της δεύτερης μέτρησης παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.4 και στον πίνακα 4.4. Η μέτρηση αυτή πραγματοποιήθηκε μετά τις κατεργασίες του εδάφους και όπως ήταν αναμενόμενο υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους στην αντίσταση στη διείσδυση. Στην πρόσφατη κατεργασία παρατηρούμε ότι το όργωμα προκάλεσε μια βαθιά χαλάρωση του εδάφους μέχρι τα 0,30 m και βαρύς καλλιεργητής μέχρι τα 0,25 m. Το περιστροφικό σκαπτικό και η δισκοσβάρνα χαλάρωσαν το έδαφος μέχρι τα 0,10 m περίπου. Ενώ η μέθοδος της ακαλλιέργειας παρουσίαζε μια πιο συνεκτική επιφάνεια εδάφους.

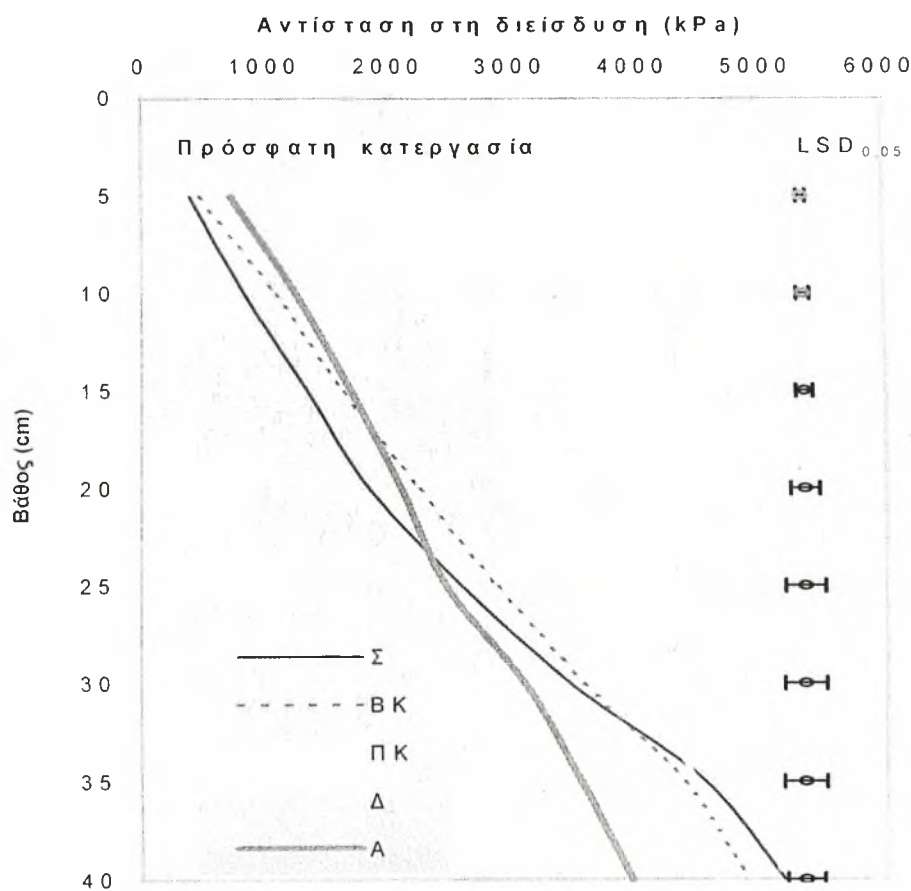


Σχήμα 4.4. Αντίσταση στη διείσδυση στις 9/6/03. Σ: συμβατική κατεργασία, ΒΚ: βαρύς καλλιεργητής, ΠΚ: περιστροφικό σκαπτικό, Δ: δισκοσβάρνα, Α: ακαλλιέργεια.

Πίνακας 4.4. Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση σε kPa στις 9/6/03.

Πρόσφατη κατεργασία	Προηγούμενη κατεργασία	Βάθος (cm)									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Σ	Σ	405	977	1245	1184	1297	1470	1791	2104	2399	2750
	ΒΚ	473	896	968	1036	1283	1505	1846	2192	2446	2724
	ΠΚ	565	1095	1184	1206	1341	1621	2117	2563	2974	3331
	Δ	841	1169	1177	1217	1433	1831	2185	2469	2781	3193
	A	566	1075	1181	1239	1404	1731	2270	2671	2945	3423
M.O.		570	1042	1151	1176	1352	1632	2042	2400	2709	3085
ΒΚ	Σ	498	1122	1188	1389	1475	1719	1808	2055	2287	2644
	ΒΚ	634	1160	1220	1271	1655	1830	2010	2344	2653	2757
	ΠΚ	689	1358	1486	1670	2160	2520	2743	2935	3241	3452
	Δ	701	1135	1108	1269	1858	2079	2333	2446	2650	3007
	A	622	1176	1459	1753	2183	2407	2608	2889	3252	3541
M.O.		629	1190	1292	1471	1866	2111	2300	2534	2816	3080
ΠΚ	Σ	769	1452	1599	1798	1846	1831	2044	2175	2348	2639
	ΒΚ	841	1444	1558	1586	1728	1893	2267	2397	2590	2823
	ΠΚ	978	1632	1955	2128	2237	2420	2635	2830	3197	3525
	Δ	1192	1987	2127	2182	2232	2517	2568	2701	2931	3310
	A	777	1495	1874	2032	2270	2414	2636	2983	3345	3468
M.O.		912	1602	1823	1945	2063	2215	2430	2617	2882	3153
Δ	Σ	815	1448	1500	1604	1700	1772	1885	2120	2406	2633
	ΒΚ	1121	1833	1819	1910	2052	2129	2480	2489	2815	3044
	ΠΚ	1187	1829	2123	2431	2577	2667	2991	3229	3440	3635
	Δ	1252	1943	2153	2173	2136	2324	2492	2679	2965	3201
	A	962	1740	2107	2432	2529	2776	3051	3262	3522	3730
M.O.		1067	1759	1941	2110	2199	2334	2580	2756	3030	3248
A	Σ	1919	2016	1751	1755	1676	1789	2033	2194	2413	2703
	ΒΚ	1961	2017	1905	1812	1816	1991	2197	2163	2358	2669
	ΠΚ	1885	1871	2080	2226	2415	2681	2855	3134	3325	3599
	Δ	2378	2342	2122	2135	2137	2365	2380	2542	2690	3051
	A	2137	2112	2105	2211	2185	2396	2503	2704	3009	3333
M.O.		2056	2072	1993	2028	2046	2262	2394	2547	2759	3071
CV (%)		30,08	17,58	15,95	13,89	11,36	11,26	10,87	10,86	10,20	8,89
LSD _{0,05} για πρόσφατη κατεργασία		198,7	170,1	165,1	153,01	136,6	150,1	161,2	176,2	182,3	ns
LSD _{0,05} για προηγούμενη κατεργασία		198,7	170,1	165,1	153,01	136,6	150,1	161,2	176,2	182,3	175,4
LSD _{0,05} για αλληλεπίδραση		ns	ns	ns	ns	305,3	ns	ns	ns	ns	ns

Στην τρίτη μέτρηση (Σχήμα 4.5, πίνακας 4.5), που πραγματοποιήθηκε πριν τη συγκομιδή, οι διαφορές μεταξύ των μεθόδων της πρόσφατης κατεργασίας έχουν ελαττωθεί σημαντικά. Με την δράση των καιρικών συνθηκών, με το πέραμα των μηχανημάτων καλλιεργητικών εργασιών από τον πειραματικό αγρό και πιθανόν με την αύξηση των ριζών των τεύτλων, το χαλαρό έδαφος συμπιέστηκε με αποτέλεσμα οι διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων να ελαττωθούν. Ελαφρώς μικρότερες τιμές αντίστασης στη διείσδυση εμφανίζει το οργωμένο έδαφος μεταξύ 0,10-0,20 m ενώ κάτω από τα 0,30 m τις μικρότερες τιμές εμφανίζει η ακαλλιέργεια. Η ακαλλιέργεια παρουσιάζει μια πιο σταθερή δομή του εδάφους ενώ στη συμβατική κατεργασία η αντίσταση στη διείσδυση αυξάνεται αρκετά κάτω από το βάθος κατεργασίας.

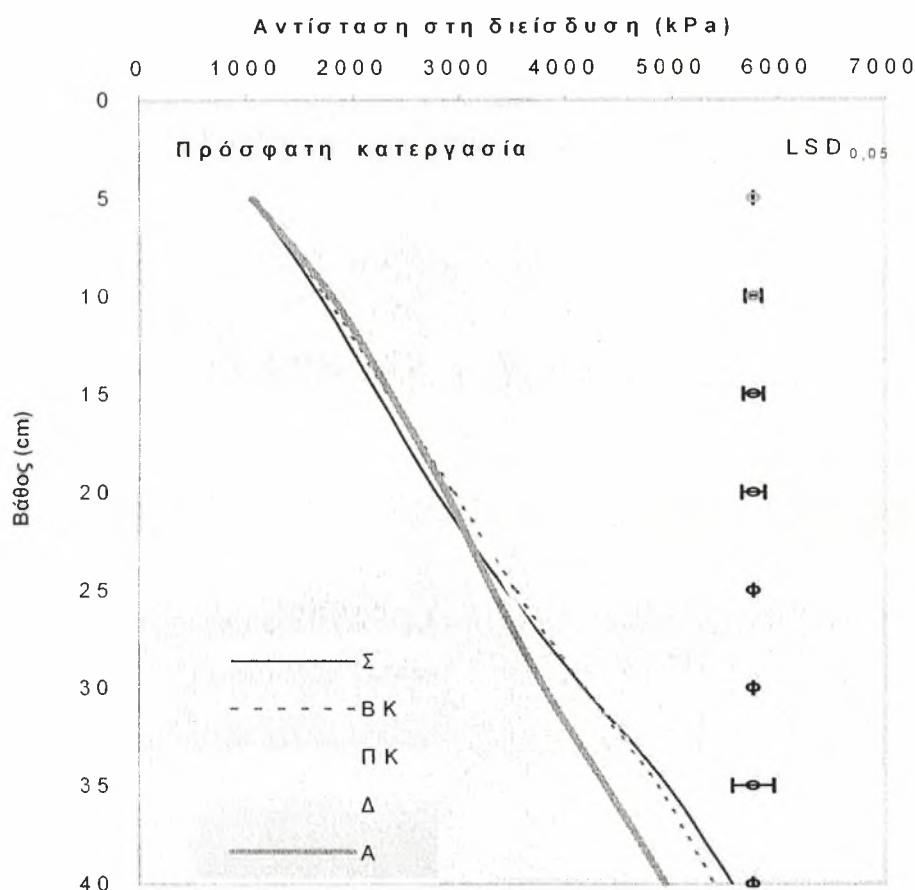


Σχήμα 4.5. Αντίσταση στη διείσδυση στις 27/10/03. Σ: συμβατική κατεργασία, ΒΚ: βαρύς καλλιεργητής, ΠΚ: περιστροφικό σκαπτικό, Δ: δισκοσβάρνα, Α: ακαλλιέργεια.

Πίνακας 4.5. Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση σε kPa, στις 27/10/03.

Πρόσφατη κατεργασία	Προηγούμενη κατεργασία	Βάθος (cm)							
		5	10	15	20	25	30	35	40
Σ	Σ	373	889	1515	2041	2667	3387	4225	4804
	BK	321	670	1149	1746	2471	3284	4494	5254
	ΠΚ	413	721	1019	1415	2065	3034	4228	4753
	Δ	440	909	1416	1789	2818	3938	4971	5621
	A	403	911	1510	2096	2862	3603	4776	5441
M.O.		390	820	1322	1817	2577	3449	4539	5174
BK	Σ	428	1034	1543	2018	2649	3420	4049	4824
	BK	460	1203	1992	2795	3254	3823	4386	4860
	ΠΚ	477	1100	1662	2255	2827	3501	4715	5276
	Δ	489	1056	1522	2123	2871	3547	4359	4685
	A	462	949	1307	1938	2684	3470	4315	4783
M.O.		463	1068	1605	2226	2857	3552	4364	4886
ΠΚ	Σ	495	1075	1386	1810	2326	2820	3316	3849
	BK	530	1220	1657	2189	2787	3606	4398	5044
	ΠΚ	633	1241	1751	2468	3471	4508	5149	5553
	Δ	552	1223	1953	2663	3418	4062	4458	4828
	A	575	1274	1901	2563	3454	4275	5081	5422
M.O.		557	1207	1730	2338	3095	3854	4480	4939
Δ	Σ	469	1195	1671	2231	2855	3232	3736	4231
	BK	437	1116	1632	2215	2989	3754	4443	4925
	ΠΚ	589	1343	2016	2886	3671	4603	5392	5771
	Δ	580	1323	2038	2631	3440	4174	4855	5299
	A	639	1401	2048	2639	3487	4448	5095	5544
M.O.		543	1276	1881	2520	3288	4042	4704	5172
A	Σ	731	1163	1368	1780	2089	2621	3103	3802
	BK	711	1213	1693	2177	2350	3048	3672	4013
	ΠΚ	691	1234	1658	2008	2386	3323	3819	4347
	Δ	710	1249	1840	2211	2567	3072	3128	3305
	A	717	1279	1792	2201	2836	3337	3961	4276
M.O.		712	1228	1670	2075	2445	3080	3537	3948
CV (%)		22,17	14,40	12,86	16,81	17,66	14,72	12,37	9,71
LSD _{0,05} για πρόσφατη κατεργασία		74,5	101,8	133,3	232,9	318	334,1	337,8	295,6
LSD _{0,05} για προηγούμενη κατεργασία		ns	ns	133,3	ns	318	334,1	337,8	295,6
LSD _{0,05} για αλληλεπίδραση		ns	ns	298	520,8	ns	ns	ns	660,9

Η τέταρτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε μετά την μηχανική συγκομιδή των τεύτλων. Τα αποτελέσματα (Σχήμα 4.6, πίνακας 4.6), δείχνουν ότι διαφορές μεταξύ των μεθόδων κατεργασίας έχουν μειωθεί ακόμη περισσότερο μετά το πέρασμα της μηχανής συγκομιδής. Η υγρασία του εδάφους κατά την συγκομιδή ήταν γύρω στο 20% επί υγρού βάρους εδάφους και ήταν μεγαλύτερη από το κατώτερο όριο πλαστικότητας του εδάφους με αποτέλεσμα να συμπιεστεί το έδαφος από το πέρασμα της μηχανής συγκομιδής που έχει μεγάλο βάρος. Μέχρι τα 0,30m όλες οι μεταχειρίσεις έχουν παρόμοιες τιμές ενώ κάτω από τα 0,30 m η ακαλλιέργεια έχει ελαφρώς χαμηλότερες τιμές.



Σχήμα 4.6. Αντίσταση στη διείσδυση στις 28/11/03. Σ: συμβατική κατεργασία, ΒΚ: βαρύς καλλιεργητής, ΠΚ: περιστροφικό σκαπτικό, Δ: δισκοσβάρνα, Α: ακαλλιέργεια.

Πίνακας 4.6. Αντίσταση του εδάφους στη διεύθυνση σε kPa στις 28/11/03.

Πρόσφατη κατεργασία	Προηγούμενη κατεργασία	Βάθος (cm)							
		5	10	15	20	25	30	35	40
Σ	Σ	782	1448	1950	2623	3234	4070	4622	5236
	ΒΚ	985	1588	2144	2677	3346	3833	4399	4970
	ΠΚ	1439	2047	2484	3064	3826	4722	5858	6852
	Δ	1050	1610	2174	2657	3150	3940	4704	5224
	Α	1061	1719	2326	2862	3653	4294	5173	5551
Μ.Ο.		1063	1682	2219	2777	3442	4172	4951	5566
ΒΚ	Σ	892	1486	2058	2481	3020	3480	4054	4643
	ΒΚ	898	1657	2186	2753	3326	4039	4617	5224
	ΠΚ	1348	1968	2725	3529	4261	5129	6133	6724
	Δ	1101	1866	2451	3215	3637	4139	4737	5245
	Α	1047	1675	2188	2743	3397	4068	4731	5130
Μ.Ο.		1057	1730	2322	2944	3528	4171	4854	5393
ΠΚ	Σ	847	1597	2056	2483	2710	3251	3761	4217
	ΒΚ	1056	1980	2704	3039	3400	3937	4415	5339
	ΠΚ	1204	1997	2574	3019	3656	4524	5478	6171
	Δ	1115	2142	2747	3411	3778	4182	4492	5071
	Α	1167	2080	2668	3316	3728	4451	5149	5486
Μ.Ο.		1078	1959	2550	3054	3455	4069	4659	5257
Δ	Σ	809	1590	2100	2478	2767	3175	3525	4085
	ΒΚ	1000	1720	2439	2836	3351	3927	4684	5445
	ΠΚ	1322	2260	2916	3626	4089	4893	5934	6779
	Δ	1230	2014	2747	3357	3712	4290	4880	5440
	Α	1207	2067	2718	3397	4109	4761	5437	5753
Μ.Ο.		1113	1930	2584	3139	3605	4209	4892	5500
Α	Σ	858	1492	2020	2542	2851	3084	3570	4083
	ΒΚ	1054	1794	2274	2677	3211	3992	4324	5065
	ΠΚ	1292	1966	2654	3199	3747	4316	5139	5848
	Δ	978	1878	2554	3163	3517	3829	4315	4700
	Α	1078	1827	2223	2764	3252	3792	4522	4978
Μ.Ο.		1052	1791	2345	2869	3316	3803	4374	4935
CV (%)		18,78	13,46	12,30	11,86	11,68	13,31	13,08	13,93
LSD _{0,05} για πρόσφατη κατεργασία		ns	154,5	186,6	221,3	ns	ns	391,8	ns
LSD _{0,05} για προηγούμενη κατεργασία		127,2	154,5	186,6	221,3	255,8	343,2	391,8	468,7
LSD _{0,05} για αλληλεπίδραση		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι αμέσως μετά την κατεργασία του εδάφους υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην αντίσταση στη διείδυση ανάμεσα στις μεθόδους κατεργασίας του εδάφους. Η συμβατική κατεργασία χαλαρώνει το έδαφος μέχρι τα 0,30 m που είναι το βάθος κατεργασίας. Ο βαρύς καλλιεργητής μέχρι τα 0,25 m περίπου. Το περιστροφικό σκαπτικό και η δισκοσβάρνα χαλαρώνουν το έδαφος επιφανειακά μέχρι τα 0,10 m. Η ακαλλιέργεια έχει το πιο συνεκτικό έδαφος διότι δεν γίνεται καμία κατεργασία. Από το βάθος των 0,30 m και κάτω όλες οι κατεργασίες εκτός από τη συμβατική έχουν την ίδια αντίσταση στη διείδυση.

Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξε ο Arvidsson (1998), ο οποίος μελέτησε την επίδραση πέντε συστημάτων κατεργασίας στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους. Οι μέθοδοι ήταν συμβατική κατεργασία σε βάθος 0,20-0,25 m, κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή σε βάθος 0,20 m, 0,15 m, 0,10 m και κατεργασία με δισκοσβάρνα σε βάθος 0,10 m. Ο βαρύς καλλιεργητής σε βάθος 0,20 m προκάλεσε ικανοποιητικό χαλάρωμα του εδάφους έχοντας μικρές διαφορές στην αντίσταση στη διείδυση από το άροτρο. Οι υπόλοιπες μέθοδοι κατεργασίας όμως είχαν μεγαλύτερες τιμές αντίστασης στη διείδυση από το άροτρο κάτω από το βάθος των 0,10 m

Στο τέλος όμως της καλλιεργητικής περιόδου μετά τη συγκομιδή των τεύλων οι διαφορές μεταξύ των μεθόδων κατεργασίας ελαττώνονται. Το έδαφος συμπιέζεται από το πέρασμα των γεωργικών μηχανημάτων και από την δράση των καιρικών συνθηκών με αποτέλεσμα όλες οι μεταχειρίσεις να έχουν μικρές διαφορές στην αντίσταση στη διείδυση. Οι Yavuzcan et al. (2002) σε ένα πείραμα στην Τουρκία, μελέτησαν τρία συστήματα κατεργασίας του εδάφους ως προς την επίδρασή τους στο έδαφος: συμβατική κατεργασία και κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα και οριζόντια ελάσματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συμβατική κατεργασία προκάλεσε την μεγαλύτερη χαλάρωση του εδάφους, αλλά το έδαφος συμπίεστηκε ξανά στα επίπεδα που ήταν πριν την κατεργασία του εδάφους.

4.3 Αντοχή του εδάφους στη διάτμηση

Πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές μετρήσεων στη συσκευή τριαξονικής φόρτισης, προκειμένου να υπολογιστούν οι δύο παράμετροι της εξίσωσης Coulomb: ο συντελεστής συνοχής του εδάφους, c και η γωνία εσωτερικής τριβής, ϕ . Οι μετρήσεις έγιναν σε δύο επίπεδα υγρασίας του εδάφους και σε τεμάχια που είχαν υποστεί δύο μεθόδους κατεργασίας, συμβατική κατεργασία και ακαλλιέργεια. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 4.7.

Πίνακας 4.7. Συντελεστής συνοχής και γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους για δύο επίπεδα υγρασίας και για δύο μεθόδους κατεργασίας.

Ημερομηνία δειγματοληψίας 23/10/03. Βάθος δειγματοληψίας 0-0,10 m			
Κατεργασία	Συντελεστής συνοχής (kPa)	Γωνία εσωτερικής τριβής (deg)	Υγρασία εδάφους (% επί ξηρού βάρους)
Συμβατική	6	28,5	5%
Ακαλλιέργεια	30	19	5%
Ημερομηνία δειγματοληψίας 23/10/03 Βάθος δειγματοληψίας 0,10-0,20 m			
Κατεργασία	Συντελεστής συνοχής (kPa)	Γωνία εσωτερικής τριβής (deg)	Υγρασία εδάφους (% επί ξηρού βάρους)
Συμβατική	10,5	27,7	5%
Ακαλλιέργεια	25,3	19,2	5%
Ημερομηνία δειγματοληψίας 25/11/03. Βάθος δειγματοληψίας 0-0,10 m			
Κατεργασία	Συντελεστής συνοχής (kPa)	Γωνία εσωτερικής τριβής (deg)	Υγρασία εδάφους (% επί ξηρού βάρους)
Συμβατική	0	14,6	13,9
Ακαλλιέργεια	3,75	12,4	11,8

Σε χαμηλή υγρασία (5%) ο συντελεστής συνοχής του εδάφους είναι μεγαλύτερος στην ακαλλιέργεια σε σχέση με την συμβατική κατεργασία. Ο συντελεστής συνοχής εκφράζει τις δυνάμεις που συγκρατούν τα εδαφικά σωματίδια μεταξύ τους. Οι δυνάμεις είναι ηλεκτροστατικής και μοριακής φύσης. Οι τελευταίες οφείλονται στις λεπτές στοιβάδες νερού που επενδύουν τα εδαφικά σωματίδια. Όταν το έδαφος είναι συμπιεσμένο, όπως στην περίπτωση της ακαλλιέργειας επέρχεται μία μείωση των αποστάσεων μεταξύ των εδαφικών σωματιδίων. Όταν ένα συμπιεσμένο έδαφος ξεραθεί αναπτύσσονται ηλεκτροστατικές δυνάμεις που προκαλούν ισχυρές δυνάμεις συνοχής μεταξύ των σωματιδίων (Γέμτος, 1994). Αυτή είναι μια πιθανή εξήγηση γιατί το έδαφος στην ακαλλιέργεια έχει μεγαλύτερο συντελεστή συνοχής από την συμβατική κατεργασία όπου το έδαφος είναι πιο χαλαρό.

Η γωνία εσωτερικής τριβής δεν διαφέρει ανάμεσα τις μεθόδους κατεργασίας και έχει τιμή κατά μέσο όρο 24° .

Όταν η υγρασία του εδάφους αυξάνεται και είναι γύρω στο 13% ο συντελεστής συνοχής μειώνεται και στις δύο μεθόδους κατεργασίας και δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ τους. Στη συμβατική κατεργασία έχει μηδενική τιμή και στην ακαλλιέργεια η τιμή του είναι 3,75 KPa. Η τιμή του συντελεστή συνοχής επηρεάζεται από την υγρασία του εδάφους. Η τιμή του είναι μέγιστη σε ένα μέσο επίπεδο υγρασίας (Chancellor, 1994), ενώ κατά άλλους ερευνητές (Kuipers and Kroesbergen, 1996, Kezdi, 1974) μειώνεται με την μείωση της υγρασίας.

Η μεταβολή της τιμής του συντελεστή συνοχής με την υγρασία του εδάφους εξαρτάται από την προϊστορία του, δηλαδή τις τάσεις που έχει δεχθεί στο παρελθόν (Γέμτος, 1994). Ένα χαλαρό έδαφος που δεν έχει υποστεί συμπίεση, έχει χαμηλό συντελεστή συνοχής σε χαμηλή υγρασία. Όταν το έδαφος υγραίνεται, ο συντελεστής συνοχής αυξάνεται μέχρι η υγρασία να φτάσει το κατώτερο όριο πλαστικότητας και στη συνέχεια μειώνεται για να μηδενιστεί όταν η υγρασία γίνει ίση με το όριο ρευστότητας. Αντίθετα ένα συμπιεσμένο έδαφος έχει μεγάλη συνοχή όταν είναι ξηρό και η συνοχή του μειώνεται όταν απορροφήσει υγρασία.

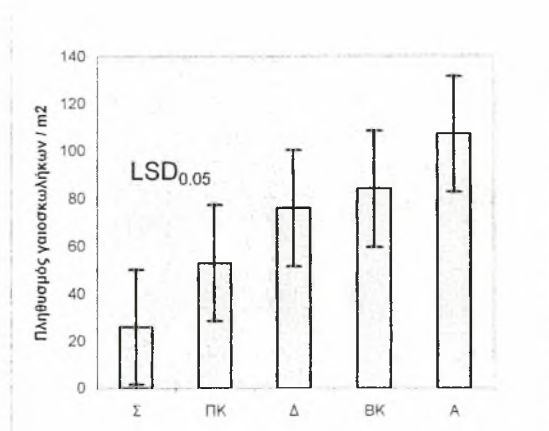
Η γωνία εσωτερικής τριβής επίσης μειώθηκε με την αύξηση της υγρασίας του εδάφους και έχει κατά μέσο όρο τιμή $13,5^{\circ}$.



Εικόνα 4.1. Διάτμηση του εδάφους με την συσκευή της τριαξονικής φόρτισης.

4.4 Πληθυσμός και βιομάζα γαιοσκωλήκων

Ο πληθυσμός των γαιοσκωλήκων είχε στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις πέντε μεθόδους κατεργασίας του εδάφους (Σχήμα 4.7). Ο μεγαλύτερος πληθυσμός παρατηρήθηκε στα τεμάχια της ακαλλιέργειας με 107 γαιοσκώληκες / m² και ο μικρότερος πληθυσμός στα τεμάχια με συμβατική κατεργασία με 26 γαιοσκώληκες / m². Στις υπόλοιπες κατεργασίες ο πληθυσμός είχε τιμές ανάμεσα στην ακαλλιέργεια και την συμβατική κατεργασία. Πιο συγκεκριμένα αμέσως μετά την ακαλλιέργεια ακολουθεί ο βαρύς καλλιεργητής με 84 γ./ m², η δισκοσβάρνα με 76γ./ m² και το περιστροφικό σκαπτικό με 53 γ./ m². Παράλληλα έγινε μέτρηση του πληθυσμού των γαιοσκωλήκων και στους διαδρόμους ανάμεσα στα τεμάχια όπου ο πληθυσμός ήταν μεγαλύτερος από την ακαλλιέργεια και είχε κατά μέσο όρο τιμή 169,6 γ./ m².

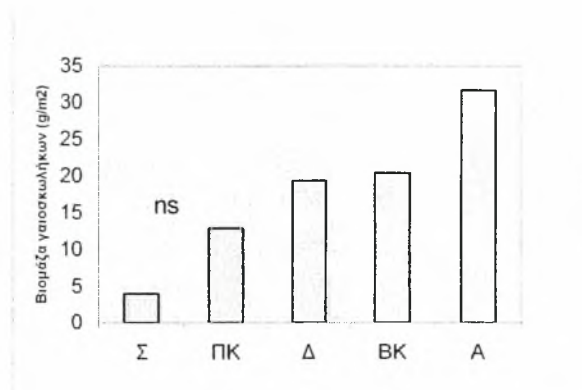


Σχήμα 4.7. Πληθυσμός γαιοσκωλήκων / m² που βρέθηκαν σε τεμάχια με διαφορετικές μεθόδους κατεργασίας του εδάφους. Σ: Συμβατική κατεργασία, ΠΚ: Περιστροφικό σκαπτικό, Δ: Δισκοσβάρνα, ΒΚ: Βαρύς καλλιεργητής, Α: Ακαλλιέργεια

Αντίστοιχα αποτελέσματα με τον πληθυσμό των γαιοσκωλήκων βρέθηκαν και για την βιομάζα τους (Σχήμα 4.8). Η ακαλλιέργεια είχε την μεγαλύτερη τιμή με 31,7 g/ m² και ακολουθούσαν ο βαρύς καλλιεργητής με 20,4 g/ m², η δισκοσβάρνα με 19,4 g/ m², το περιστροφικό σκαπτικό με 12,9 g/ m² και τελευταία ήταν η συμβατική κατεργασία με 4,1 g/ m². Οι διαφορές όμως στην περίπτωση της βιομάζας δεν ήταν στατιστικά σημαντικές λόγω της μεγάλης παραλλακτικότητας των δεδομένων. Η

βιομάζα των γαιοσκωλήκων που συλλέχθηκαν από τους διαδρόμους ήταν 37.6 g/m^2 και ήταν μεγαλύτερη από τη βιομάζα που μετρήθηκε στην ακαλλιέργεια.

Τα είδη που βρέθηκαν είναι μικρά σε μέγεθος, ζουν και τρέφονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και ανήκουν στο γένος *Allolobophora*.



Σχήμα 4.8. Βιομάζα γαιοσκωλήκων, σε g/m^2 που συλλέχθηκαν από τεμάχια με διαφορετικές μεθόδους κατεργασίας του εδάφους. Σ: Συμβατική κατεργασία, ΠΚ: Περιστροφικό σκαπτικό, Δ: Δισκοσβάρνα, ΒΚ: Βαρύς καλλιεργητής, Α: Ακαλλιέργεια

Η συμβατική κατεργασία του εδάφους επέδρασε αρνητικά στον πληθυσμό και την βιομάζα των γαιοσκωλήκων. Ο μειωμένος πληθυσμός των γαιοσκωλήκων στη συμβατική κατεργασία σε σχέση με την ακαλλιέργεια αναφέρεται από πολλούς ερευνητές (Rasmussen (1999), Vavoulidou et al.(1999), Tebrugge and During (1999), Chan (2001), Kladivko (2001), Anken et al. (2004)).

Η μείωση του πληθυσμού των γαιοσκωλήκων στη συμβατική κατεργασία οφείλεται σύμφωνα με τους Haynes et al. (2003) στους εξής λόγους: α) η κατεργασία μπορεί να θανατώσει απευθείας ένα μέρος του πληθυσμού και επιπλέον όταν οι γαιοσκώληκες έρθουν στην επιφάνεια του εδάφους μπορεί να δεχθούν επίθεση από τα πουλιά και β) οι γαιοσκώληκες υποφέρουν από έλλειψη τροφής, λόγω της έλλειψης φυτικών υπολείμμάτων, με αποτέλεσμα να περιορίζεται ο πληθυσμός τους και ο αριθμός των ειδών που ζουν στα αρόσιμα εδάφη.

Ο αυξημένος πληθυσμός γαιοσκωλήκων στην ακαλλιέργεια οφείλεται σύμφωνα με την Kladivko (2001) στις καλύτερες συνθήκες που επικρατούν στο έδαφος. Στην ακαλλιέργεια τα φυτικά υπολείμματα που παραμένουν στην επιφάνεια

του εδάφους, παρέχουν τροφή στους γαιοσκώληκες για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ότι αν είχαν ενσωματωθεί στο έδαφος. Επίσης τα φυτικά υπολείμματα δημιουργούν ένα προστατευτικό στρώμα που δεν αφήνει το έδαφος να ξεραθεί στο τέλος της άνοιξης και να πέσει απότομα η θερμοκρασία του στο τέλος του φθινοπώρου. Αυτό επιτρέπει στους γαιοσκώληκες να είναι δραστήριοι, να βρίσκουν τροφή και να αναπαράγονται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα την άνοιξη και το φθινόπωρο. Επίσης τα φυτικά υπολείμματα δίνουν στους γαιοσκώληκες περισσότερο χρόνο να εγκλιματιστούν στο καλοκαίρι ή στον χειμώνα και να κατεβούν σε μεγαλύτερα βάθη για να περάσουν την περίοδο που είναι αδρανή.

Στις υπόλοιπες μεθόδους κατεργασίας ο πληθυσμός και η βιομάζα των γαιοσκωλήκων είχε ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στην ακαλλιέργεια και την συμβατική κατεργασία.

Αμέσως μετά την ακαλλιέργεια ακολουθούσαν η κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή και η κατεργασία με δισκοσβάρνα. Οι δύο αυτές μέθοδοι είχαν περίπου τις ίδιες τιμές στο πληθυσμό και στη βιομάζα με μια ελαφρά υπεροχή του βαρύ καλλιεργητή. Ο Chan (2001), αναφέρει ότι ένα χρόνο μετά από κατεργασία με δισκοσβάρνα ο μέσος πληθυσμός των γαιοσκωλήκων ήταν το 84% του πληθυσμού πριν την κατεργασία, ενώ για τη συμβατική κατεργασία το αντίστοιχο ποσοστό ήταν 46%. Ο ίδιος ερευνητής αναφέρει ότι η ανοιξιάτικη κατεργασία με ελαφρύ καλλιεργητή που έκανε ανάμιξη των φυτικών υπολειμμάτων σε βάθος 10 cm είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερους πληθυσμούς γαιοσκωλήκων σε σχέση με ανοιξιάτικο όργωμα που γινόταν σε βάθος 20 cm (74 m^{-2} έναντι 22 m^{-2}).

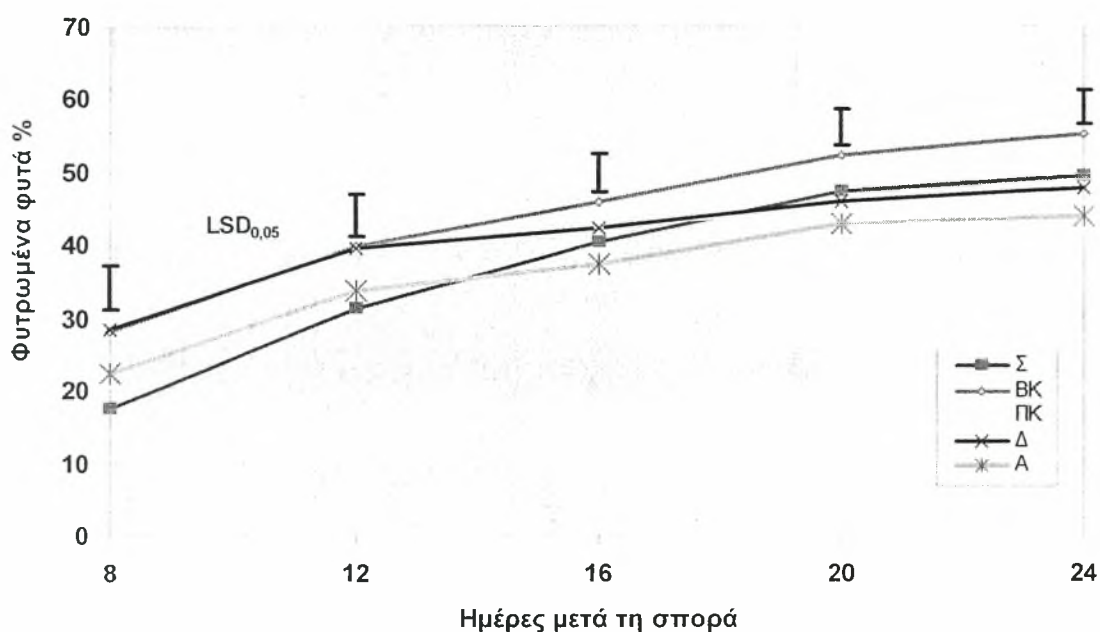
Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν οι Gerard και Hay (1979) οι οποίοι έκαναν σύγκριση των παρακάτω συστημάτων κατεργασίας σε ένα μακροχρόνιο πείραμα σε δύο τύπους εδαφών στην Αγγλία: βαθύ όργωμα (σε βάθος 30-35 cm, με πλάτος κοπής υνιού 45 cm), κανονικό όργωμα (σε βάθος 15-20 cm με πλάτος κοπής υνιού 22,5 cm), κατεργασία με καλλιεργητή, δύο ή τρία περάσματα, (σε βάθος 12-30 cm, απόσταση υνιών 22,5 cm) και ακαλλιέργεια. Οι πληθυσμοί των γαιοσκωλήκων ήταν μικρότεροι στο βαθύ όργωμα και αυξάνονταν σταδιακά στον καλλιεργητή, στο κανονικό όργωμα και οι μεγαλύτεροι πληθυσμοί ήταν στην ακαλλιέργεια. Οι ερευνητές απέδωσαν τον αυξημένο πληθυσμό της ακαλλιέργειας στην απουσία της μηχανικής ζημιάς που προκαλούν τα εργαλεία κατεργασίας, στα μεγαλύτερα επίπεδα υγρασίας του εδάφους και στην ύπαρξη φυτικών υπολειμμάτων που προσφέρουν τροφή στους γαιοσκώληκες για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Από τις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας, το περιστροφικό σκαπτικό είχε τον μικρότερο πληθυσμό και βιομάζα γαιοσκωλήκων, πιθανόν λόγω της μεγάλης ανατάραξης του εδάφους που προκαλεί το εργαλείο αυτό. Η Bostrom (1995), σε πείραμα που έκανε στην Σουηδία, αναφέρει ότι η κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό θανάτωσε κατά μέσο όρο το 64% της βιομάζας των γαιοσκωλήκων. Το όργωμα που ακολουθούσε μετά το περιστροφικό σκαπτικό αύξησε τη θνησιμότητα επιπλέον κατά 10% της αρχικής βιομάζας.

Τέλος οι γαιοσκώληκες στους διαδρόμους μεταξύ των τεμαχίων ήταν κατά 1,6 φορές περισσότεροι από τους γαιοσκώληκες στην ακαλλιέργεια. Στους διαδρόμους δεν γίνονται κάποιες από τις καλλιεργητικές εργασίες από αυτές που δέχονται τα τεμάχια της ακαλλιέργειας (λίπανση, φυτοπροστασία, σπορά, συγκομιδή) και οι συνθήκες είναι παρόμοιες με τις συνθήκες που επικρατούν σε φυσικό λιβάδι όπου οι πληθυσμοί των γαιοσκωλήκων είναι μεγαλύτεροι από την ακαλλιέργεια (Chan, 2001).

4. 5. Φύτρωμα

Για την παρακολούθηση της εξέλιξης του φυτρώματος λήφθηκαν μετρήσεις 8, 12, 16, 20 και 24 ημέρες μετά την σπορά των τεύτλων. Τα αποτελέσματα δίνονται στο Σχήμα 4.9.



Σχήμα 4.9. Εξέλιξη του φυτρώματος των τεύτλων για τις πέντε μεθόδους κατεργασίας του εδάφους. Σ: συμβατική κατεργασία, BK: βαρύς καλλιεργητής, ΠΚ: περιστροφικό σκαπτικό, Δ: δισκοσβάρνα, Α: ακαλλιέργεια.

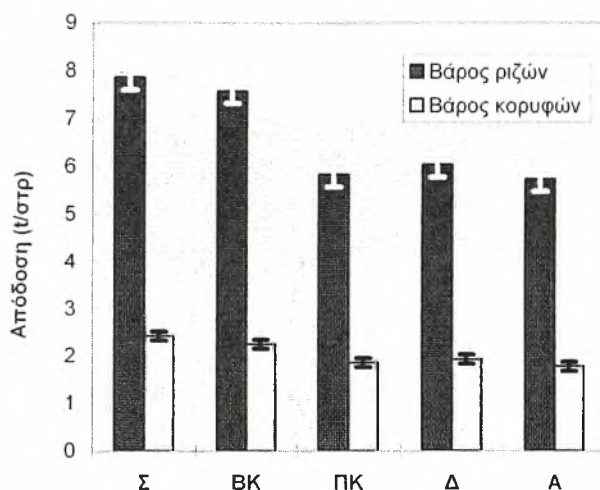
Το φύτρωμα ξεκίνησε νωρίτερα στην μέθοδο του περιστροφικού σκαπτικού, της δισκοσβάρνας και του βαρύ καλλιεργητή. Στη συνέχεια φύτρωσαν τα φυτά στην ακαλλιέργεια και τελευταία στην συμβατική κατεργασία. Οκτώ ημέρες μετά τη σπορά είχε φυτρώσει στην μέθοδο του περιστροφικού σκαπτικού το 30% των σπόρων στη μέθοδο της δισκοσβάρνας και του βαρύ καλλιεργητή το 28,5%, στην ακαλλιέργεια το 22,6% και στη συμβατική κατεργασία το 17,5 %. Η συμβατική κατεργασία είχε στατιστικά σημαντικές διαφορές με όλες τις μεθόδους εκτός από την ακαλλιέργεια. Το έδαφος στις μεθόδους μειωμένης καλλιέργειας διατηρεί ένα

υψηλότερο ποσοστό εδαφικής υγρασίας στην περιοχή της σποροκλίνης και αυτός είναι πιθανόν ο λόγος που τα φυτά φύτεψαν νωρίτερα στις μεθόδους αυτές.

Με την ολοκλήρωση του φυτρώματος η μέθοδος του βαρύ καλλιεργητή είχε το πιο υψηλό ποσοστό φυτρώματος (55,2%), ακολουθούσε η συμβατική κατεργασία (49,3%), η δισκοσβάρνα (47,9%), το περιστροφικό σκαπτικό (45,1%) και τελευταία ήταν η ακαλλιέργεια (44%). Το φύτεμμα ήταν ικανοποιητικό για όλες τις μεθόδους κατεργασίας και δεν αποτέλεσε πρόβλημα για την περαιτέρω ανάπτυξη των καλλιεργειών.

4.6. Απόδοση

Η συγκομιδή των τεύτλων πραγματοποιήθηκε στις 7/11/03. Τα αποτελέσματα της απόδοσης (βάρος ριζών και βάρος κορυφών) σε t/στρ. παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.10.



Σχήμα 4.10. Βάρος ριζών και βάρος κορυφών των ζαχαροτεύτλων για τις πέντε μεθόδους κατεργασίας. Σ: συμβατική κατεργασία, ΒΚ: βαρύς καλλιεργητής, ΠΚ: περιστροφικό σκαπτικό, Δ: δισκοσβάρνα, Α: ακαλλιέργεια. LSD για $P < 0,05$.

Η μέθοδος της συμβατικής κατεργασίας και του βαρύ καλλιεργητή είχαν τις μεγαλύτερες αποδόσεις σε βάρος ριζών και σε βάρος κορυφών. Το βάρος των ριζών ήταν για την συμβατική κατεργασία 7,86 t/στρ και για τον βαρύ καλλιεργητή 7,58 t/στρ. Το βάρος των κορυφών ήταν 2,42 t/στρ και 2,25 t/στρ αντίστοιχα. Οι μεταχειρίσεις αυτές δεν είχαν μεταξύ τους στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η δισκοσβάρνα, το περιστροφικό σκαπτικό και η ακαλλιέργεια είχαν σημαντικά μειωμένες αποδόσεις σε σχέση με την συμβατική κατεργασία και τον βαρύ καλλιεργητή στο βάρος των ριζών και στο βάρος των κορυφών, χωρίς να έχουν μεταξύ τους στατιστικά σημαντικές διαφορές. Το περιστροφικό σκαπτικό είχε βάρος ριζών 5,84 t/στρ και βάρος κορυφών 1,86 t/στρ. Η δισκοσβάρνα είχε βάρος ριζών 6,03 t/στρ και βάρος κορυφών 1,93 t/στρ. Η ακαλλιέργεια βάρος ριζών 5,73 t/στρ και βάρος κορυφών 1,78 t/στρ. Η αναλογία βάρους ριζών και βάρους κορυφών ήταν περίπου η ίδια για όλες τις μεθόδους κατεργασίας.

Η μείωση της απόδοσης σε σχέση με την συμβατική κατεργασία ήταν για τον βαρύ καλλιεργητή 3,6 %, για τη δισκοσβάρνα 23,2 %, για το περιστροφικό σκαπτικό 25,7 % και για την ακαλλιέργεια 27,1%.

Στις μεθόδους της δισκοσβάρνας, του περιστροφικού σκαπτικού και της ακαλλιέργειας το έδαφος είναι συνεκτικό και έχει αυξημένη αντίσταση στην διείσδυση με αποτέλεσμα να περιορίζεται η ανάπτυξη των ριζών. Ο Chancellor (1977) αναφέρει ότι το βάρος της ρίζας των τεύτλων μειώνεται όταν αυξάνεται η αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση.

Ο Καβαλάρης (2004) μέτρησε την ανάπτυξη των ριζών των τεύτλων στο ίδιο πείραμα τα έτη 1998 και 1999. Παρατήρησε ότι στην μέθοδο του περιστροφικού σκαπτικού και της δισκοσβάρνας, οι ρίζες αναπτύσσονται κατακόρυφα μέχρι τα 7-10 cm και στη συνέχεια προχωρούν οριζόντια με γωνία κλίσης 35°- 40° ως προς το κατακόρυφο επίπεδο. Ο λόγος είναι ότι μόλις φτάσουν στο βάθος κατεργασίας συναντούν συνεκτικό έδαφος και αλλάζουν την κατεύθυνση ανάπτυξης ώστε να συναντήσουν πιο χαλαρό έδαφος. Στην ακαλλιέργεια που είχε το πιο συνεκτικό οι ρίζες αναπτύχθηκαν κατακόρυφα, έχοντας όμως μικρότερο μήκος και μικρότερη διάμετρο. Αυτό οφείλεται στο ότι το έδαφος στην ακαλλιέργεια ήταν ομοιόμορφα συνεκτικό σε όλο το βάθος και τα φυτά μη βρίσκοντας χαλαρό ανέπτυξαν τις ρίζες τους κατακόρυφα αλλά με μεγαλύτερη δυσκολία.

Άλλος ένας λόγος για τη μείωση των αποδόσεων στην ακαλλιέργεια είναι ο έντονος ανταγωνισμός από τα ζιζάνια. Στην ακαλλιέργεια ο πληθυσμός των ζιζανίων ήταν αυξημένος επειδή δεν έγινε καμία κατεργασία στο έδαφος, ώστε να καταστραφούν τα υπόγεια τμήματα των πολυετών ζιζανίων και να παραχωθούν οι σπόροι των ετήσιων ζιζανίων. Οι Deibert et al. (1979) παρατήρησαν μειωμένες αποδόσεις των ζαχαροτεύτλων στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας και ακαλλιέργειας σε σχέση με την συμβατική κατεργασία. Η μείωση των αποδόσεων αποδόθηκε σε αυξημένο ανταγωνισμό από τα ζιζάνια, ο έλεγχος των οποίων δεν ήταν επιτυχής μόνο με την χημική ζιζανιοκτονία. Οι Cavalaris και Gemtos (2002) επίσης παρατήρησαν μείωση των αποδόσεων στα ζαχαρότευτλα στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας και στην ακαλλιέργεια σε σχέση με την συμβατική κατεργασία. Η μείωση της απόδοσης ήταν μεγαλύτερη στην ακαλλιέργεια και αποδόθηκε στον ανταγωνισμό από τα ζιζάνια και στις δυσμενείς φυσικές ιδιότητες του εδάφους (αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα, αντίσταση στη διείσδυση και αντοχή στη διάτμηση).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το έδαφος στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας παρουσίασε αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα και αυξημένη αντίσταση στη διείσδυση. Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν στην ακαλλιέργεια και ακολουθούσαν οι μέθοδοι της δισκοσβάρνας και του περιστροφικού σκαπτικού, ενώ ο βαρύς καλλιεργητής πλησίαζε τις τιμές της συμβατικής κατεργασίας, προκαλώντας παραπλήσια χαλάρωση στο έδαφος με το άροτρο. Η αυξημένη συνεκτικότητα του εδάφους είναι αναμενόμενη κατά την εφαρμογή των μεθόδων της μειωμένης κατεργασίας και ακαλλιέργειας. Ωστόσο μετά από επτά χρόνια διεξαγωγής του πειράματος παρατηρείται μια μικρή μείωση της ξηρής φαινομενική πυκνότητας του εδάφους στην μέθοδο της ακαλλιέργειας. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι ίσως έχει αρχίσει να βελτιώνεται η δομή του εδάφους στην ακαλλιέργεια λόγω της αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων

και των ριζών μέσα στο έδαφος και λόγω της αυξημένης δραστηριότητας των γαιοσκωλήκων.

Οι μεγαλύτεροι πληθυσμοί των γαιοσκωλήκων παρατηρήθηκαν στην ακαλλιέργεια λόγω της μηδενικής ανατάραξης του εδάφους και λόγω της ύπαρξης άφθονων φυτικών υπολειμμάτων που πρόσφεραν τροφή στους γαιοσκώληκες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αντίθετα οι μικρότεροι πληθυσμοί παρατηρήθηκαν στην συμβατική κατεργασία που ήταν η πιο εντατική μέθοδος κατεργασίας. Στις υπόλοιπες μεθόδους κατεργασίας οι πληθυσμοί είχαν ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στην ακαλλιέργεια και την συμβατική κατεργασία. Από τις μεθόδους της μειωμένης κατεργασίας οι μικρότεροι πληθυσμοί διαπιστώθηκαν στο περιστροφικό σκαπτικό διότι το εργαλείο αυτό εργάζεται με πολλές στροφές και προκαλεί μεγάλη ανατάραξη στο έδαφος.

Το φύτευμα ήταν ικανοποιητικό για όλες τις μεθόδους κατεργασίας και δεν αποτέλεσε πρόβλημα για την περαιτέρω ανάπτυξη των καλλιεργειών. Το υψηλότερο ποσοστό φυτρώματος των τεύτλων διαπιστώθηκε στην μέθοδο του βαρύ καλλιεργητή με ποσοστό 55,2% και ακολουθούσαν οι μέθοδοι της συμβατικής κατεργασίας με 49,3%, της δισκοσβάρνας με 47,9%, του περιστροφικού σκαπτικού με 45,1% και της ακαλλιέργειας με 44%.

Η απόδοση των ζαχαροτεύτλων στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας ήταν μειωμένη σε σχέση με την συμβατική κατεργασία. Στην κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή διαπιστώθηκε μια μικρή μείωση της απόδοσης της τάξης του 3,7%. Στις υπόλοιπες μεθόδους όμως η μείωση της απόδοσης ήταν σημαντική. Στην κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό η απόδοση ήταν μειωμένη κατά 25,7%, με δισκοσβάρνα 23,2%, και στην ακαλλιέργεια 27,1%. Οι αιτίες που προκάλεσαν μείωση των αποδόσεων στις μεθόδους αυτές ήταν 1) η συνεκτικότητα του εδάφους το οποίο παρουσίαζε αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα και αντίσταση στη διείσδυση και 2) ο ανταγωνισμός από τα ζιζάνια.

Από τις μεθόδους της μειωμένης κατεργασίας η κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή είχε την μεγαλύτερη απόδοση, είχε τους μεγαλύτερους πληθυσμούς γαιοσκωλήκων και πέτυχε ικανοποιητική χαλάρωση στο έδαφος προσεγγίζοντας τη χαλάρωση που προκαλεί το άροτρο. Τα στοιχεία αυτά δείχνουν ότι ο βαρύς καλλιεργητής θα μπορούσε σε πρώτη φάση να αντικαταστήσει το άροτρο μέχρι να αυξηθεί η οργανική ουσία, να ενισχυθεί η βιολογική δραστηριότητα και γενικώς να δημιουργηθεί μια καλή δομή στο έδαφος. Στη συνέχεια θα μπορούσε να εφαρμοστεί το σύστημα της ακαλλιέργειας και συστήματα μειωμένης κατεργασίας στα πλαίσια της αειφορικής διαχείρισης του εδάφους και σε μια προσπάθεια να μειωθεί το κόστος παραγωγής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Al-Kaisi, M.M. and Yin, X.(2004). **Stepwise time response of corn yield and economic return to no tillage**. Soil and Tillage Research, **78**, pp 91-101.
- Anken, T., Weisskopf, P., Zihlmann, U., Forrer, H., Jansa, J. and Perhacova K. (2004). **Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland**, Soil and Tillage Research, **78**, pp 171-183.
- Anonymous, (1999). Conservation Agriculture in Europe. www.ecaf.org
- Arshad, M.A., Franzluebbers, A.J. and Azooz, R.H. (1999). **Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada**, Soil and Tillage Research, **53**, pp 41-47.
- Arvidsson, J.(1998). **Effects of cultivation depth in reduced tillage on soil physical properties, crop yield and plant pathogens**. Soil and Tillage Research **9**, pp 79-85.
- ASAE Standards (1993), EP 291.2. **Terminology and definitions for soil tillage and soil tool relationships**. *American Society of Agricultural Engeers*. St. Joseph Michigan.
- ASAE Standards S313.2 (1998). **Soil Cone Penetrometer**. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph Michigan.
- Barzegar, A.R., Asoodar, M.A., Khadish, A., Hashemi, A.M. and Herbert S.J.(2003). **Physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatments**. *Soil Till. Res.* 71, pp. 49-57.
- Boizard, H., G. Richard, G. Roger- Estrade, C. Durr and J. Boiffin.(2002). **Cumulative effects of cropping systems on the structure of tilled layer in northern France**, Soil and Tillage Research, **64**, pp 149-164.
- Bostrom, U., 1995. **Earthworm populations in ploughed and undisturbed leys**. Soil and Tillage Research. **35**: 125-133.
- Buckerfield, J.C., Lee, K.E., Davoren, C. W., Hannay, J.N. (1997). **Earthworms as indicators of sustainable production in dryland cropping in southern Australia**. *Soil Biology and Biochemistry* 29, 547-554

- Buschiazzo, D.E., Panigatti, J.L. and Unger, P.W. (1998). **Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas**, Soil and Tillage Research, 49, pp 105-116.
- Cavalaris, C.C., Gemtos, T.A. (2002). **Evaluation of four conservation tillage methods in the sugar beet crop**. International Commission of Agricultural Engineering (CIGR). E-Journal, Vol IV. www.ucd.ie/cigr/
- Chan, K.Y., 2001. **An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity- implications for functioning in soils**. Soil and Tillage Research. 57: 179-191.
- Chancellor, W.J. (1994). **Soil Physical Properties**. In: P. De Vore- Hansen ed, Advances in Soil Dynamics. ASAE Monograph No 12.
- Chancellor, W.J. (1977). **Compaction of soil by agricultural equipment**. University of California, Division of Agricultural Sciences. Bulletin 1881.
- Clapperton, J. M., Miller, J.J. and Larney, F. J.(1997). **Earthworm populations as affected by longterm tillage practices in southern Alberta, Canada**. Soil Biology and Biochemistry, 29, pp. 631-633.
- Cole, C. V. (1996). **Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emissions**. Chapter 23. pp 745-771. In: Climatic Change. Impacts, Adaptation and Mitigation of Climatic Change. Scientific Technical Analyses. IPCC Working Group II, Cambridge University Press, UK.
- Deibert, E.J., Giles, J.F. and Enz, J.(1979). **Reduced tillage sugarbeet production**. Sugarbeet Research and Extension Reports. Vol 10, pp 105-110.
- Dick, W.A., McCoy, E.L., Edwards, W.M. and Lal, R.(1991). **Continuous application of No-Tillage to Ohio soils**. Agronomy Journal, 83:65-73.
- ECAF, (1999). European Conservation Agriculture Federation. www.ecaf.org
- Ekeberg, E. and Riley H. (1997). **Tillage intensity effects on soil properties and crop yields in a long- term trial on morainic loam soil in southeast Norway**, Soil and Tillage Research, 42, pp 277-293.
- European Environment Agency. (1998). **Soil Degradation**, Chapter 1, pp 231-246. In: Europe's Environment: The Second Assessment, Elsevier Science.
- Ferreras, L.A., Costa, J.L., Garcia, F.O. and Pecorari C. (2000). **Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina**. Soil Till. Res. 54, pp 31-39.

- Garcia-Torres L., Martinez-Vilela A., Holgado-Cabrera A. and Gonzales-Sanchez Emilio (2004). **Conservation Agriculture, environmental and economic benefits.** *European Conservation Agriculture Federation (ECAF), Brussels, Belgium.* www.ecaf.org & *Spanish Association for Conservation Agriculture/Living Soils (AEAC/SV), Cordoba, Spain,* www.aeac-sv.org
- Gemtos T.A., Galanopoulou, S. and Kavaliris, C. (1998). **Wheat establishment after cotton with minimum tillage.** *European Journal of Agronomy*, **8** (1998), pp 137-147.
- Geragd, B.M., Hay, R.K.M., 1979. **The effect on earthworms of ploughing, tined cultivation, direct drilling and nitrogen in a barley monoculture system.** *J. Agric. Sci., UK* **93**, 147-155.
- Hao, X., Chang, C. and Lindwall, C. W., 2001. **Tillage and crop sequence effects on organic carbon and total nitrogen content in an irrigated Alberta soil.** *Soil Till. Res.* **62**, pp 167-169.
- Hajabbasi, M.A. and A. Hemmat. (2000). **Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a clay-loam soil in central Iran,** *Soil and Tillage Research*, **56** , pp 205-212.
- Haynes, R.J., Dominy, C.S., Graham, M.H., 2003. **Effect of agricultural land use on soil organic matter status and the composition of earthworm communities in KwaZulu- Natal, South Africa.** *Soil and Tillage Research.* **95** : 453-464.
- Hemmat, A. and Eskandari, I.(2004). **Tillage system effects upon productivity of a dryland winter wheat-chickpea rotation in the northwest region of Iran.** *Soil and Tillage Research*, **78**, pp 69-81.
- Hill, R.L. (1990). **Long term conventional and no tillage effects on selected soil physical properties.** *Soil Sci.Soc. Am. J.* **54**, pp. 161-166.
- Holland J.M. (2004). **The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence.** *Agriculture Ecosystems and Environment* **103**, pp 1-25.
- Hussain, I., Olson, K.R. and Ebelhar, S.A.(1999). **Impacts of tillage and no-till on production of maize and soybean on an eroded Illinois silt loam soil,** *Soil and Tillage Research*, **52** , pp 37-49.
- Jordan, D., Stecker, J.A., Cacio-Hubbard, V.N., Li, F., Gantzer, C.J. and Brown J.R. (1997). **Earthworm activity in no-tillage and conventional tillage systems in**

- Missouri: A preliminary study.** Soil Biology and Biochemistry, 29 (3-4), pp. 489-491.
- Kezdi, A. (1974). **Handbook of soil mechanics, Vol. 1. Soil Physics.** Amsterdam, Elsevier.
- Kuipers, H. and B. Kroesbergen.(1996). **The significance of moisture content, pore space, method of sample preparation and type of shear annulus used on laboratory torsional shear testing of soils.** Journal of Terramechanics, 3, pp 17-28.
- Kinsella, J. (1995). **The effect of various tillage systems in soil compaction.** In: Farming for a Better Environment, A White Paper, pp 15-17. Soil and Water Conservation Society, Ankey, Iowa, USA.
- Kladivko, E.J., Akhouri, N.M. and Weesies G. (1997). **Earthworm populations and species distributions under no-till and conventional tillage in Indiana and Illinois.** Soil Biology and Biochemistry, 29 (3-4), pp. 613-615.
- Kladivko, E.J., 2001. **Tillage systems and soil ecology.** Soil and Tillage Research 61: 61-76.
- Koller K. (2003). **Techniques of soil tillage.** In: A. El Titi (Editor), *Soil Tillage in Agroecosystems*, Chap. 1, pp. 1-27. CRC Press, Boca Raton London New York Washington.
- Kouwenhoven, J.K., Perdok, U.D., Boer, J. and Oomen G.J.M.(2002). **Soil management by shallow mouldboard ploughing in The Netherlands.** Soil and Tillage Research, 65, pp 125-139.
- Lal, R., Mahboubi, A.A. and Fausey, N.R. (1994). **Long term tillage and rotation effects on properties of a central Ohio soil.** *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, pp. 517-522.
- Lal, R. (1997). **Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ enrichment.** Soil and Tillage research, 43, pp 81-107
- Lopez, M.V., Arrue, J.L. and Sanchez-Giron, V. (1996). **A comparison between seasonal changes in soil water storage and penetration resistance under conventional and conservation tillage systems in Aragon.** Soil and Tillage research, 37, pp 251-271.
- Miller, S.D. and Dexter, A.G.(1983). **No-tillage beet production.** Sugarbeet Research and Extension Reports, 21, pp 124-125.

- Milligan, G.W.E., Houlsby, G.T. (1989). **Θεωρία και προγράμματα εδαφομηχανικής σε Basic**. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
- Moreno, F., Pelegrin, F., Fernandez, J. E. and Murillo, J.M. (1997). **Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain**. *Soil Till. Res.* 41, pp 25-42.
- Munkholm, L.J., Schunning, P., Rasmussen K.J., Tanderup K. (2003). **Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment**, *Soil and Tillage Research*, 71, pp 163-173.
- Mygdakos, E., Aygulas, C., Patsialis, K and Kotoulas, E. (2000). **Comparison between conventional, reduced tillage and no-till systems on cotton growing in Greece - Economic results of three year experimentation**. 4th European Symposium on European Farming and Rural Systems, Research and Extension into the next Millennium. Volos, Greece 2000.
- Paoletti, M.G. (1999). **The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators**. *Soil and Tillage Research*, 74, pp 137-155.
- Papendick, R.I. (1992). **Maintaining soil Physical Conditions**. In: Greenland, D.J. & Szaboles I. (editors). *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. Cab International, Walingford, Oxon, U.K. pp 216-217.
- Pimentel D., C. Harvey, P Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fitton, R. Saffouri, R. Blair. (1995). **Environmental and economic cost of soil erosion and conservation benefits**. *Science*, 267, pp 1117-1123.
- Rasmussen, K. J. (1999). **Impacts of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review**. *Soil Till. Res.* 53, pp 3-14.
- Salinas – Garcia , J.R., Matocha, J.E. and Hons, F.M. (1997). **Long term tillage and nitrogen fertilization effects on soil properties of an Alfisol under dryland corn/cotton production**. *Soil Till. Res.* 42, pp. 79-93.
- Sallberg, J.R. (1965). **Shear Strength**. In : C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis*, Part I. ASA Inc, Madison Wisconsin, USA
- Shuster, W.D., Edwards, C.A.(2003). **Interactions between Tillage and Earthworms in Agroecosystems**. In: A. El Titi (Editor), *Soil Tillage in Agroecosystems*, Chap. 9, pp. 229-260. CRC Press, Boca Raton London New York Washington.
- Sidiras, N. and Kahnt, G. (1988). **Biopores, rooting of maize and physical soil properties as influenced by tillage systems**. *Proceedings of the 11th International Conference (ISTRO), Edinburgh*.

- Sidiras, N., Bilalis, D. and Vavoulidou E. (2001). **Effects of tillage and fertilization on some selected physical properties of soil (0-30 cm depth) and on root growth dynamic of winter barley (*Hordeum Vulgare* cv. Niki).** J. Agronomy and Crop Science, 187, pp 167-176.
- Sutton B.H.C. (1993). **Solving problems in Soil Mechanics.** Longman Malaysia, VVP.
- Tebrugge, F. and During, R. A. (1999). **Reducing tillage intensity- a review of results from a long term study in Germany.** *Soil Till. Res.* 53, pp 15-28.
- Threadgill, E.D. (1982). **Residual Tillage Effects as Determined by Cone Index,** TRANSACTIONS of the ASAE, --, pp 859-863 .
- Unger, P.W. (1990). **Conventional and no tillage effects on upper root zone soil conditions.** *Soil Till. Res.* 16, pp. 337-344.
- Unger, P.W. (1996). **Soil bulk density, penetration resistance and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions.** *Soil Till. Res.* 37, pp 67-75.
- Uri, N.D., Atwood, J.D. and Sanabria J.(1998). **The environmental benefits and costs of conservation tillage.** *The Science of the Total Environment*, 216, pp 13-32.
- Vavoulidou, E., Rombke, J., Sidiras, N., Bilalis, D., Tsigou, R., 1999. **Effects of three different soil cultivation and fertilization treatments on earthworms and enchytraeids.** *Newsletter on Enchytraeidae.* 6 : 91-100.
- Wilkinns, D.E., Siemens, M.C. and Albrecht, S.L. (2002). **Changes in Soil Physical Characteristics During Transition from Intensive Tillage to Direct Seeding.** TRANSACTIONS of the ASAE, 45(4), pp 877-880.
- Yavuzcan, H.G., Vatandas, M., Gurhan, R. (2002). **Soil strength as affected by tillage system and wheel-traffic in wheat corn rotation in central Anatolia.** *Journal of Terramechanics*, 39, pp 23-34.
- Γέμτος, Θ.Α. (1994). **Σημειώσεις Γεωργικής Μηχανολογίας.** Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Βόλος.
- Καβαλάρης Χ. (2004). **Εφαρμογή μειωμένων εισροών για την κατεργασία του εδάφους σε συστήματα αμψεισποράς ζαχαροτεύτλων, βαμβακιού και καλαμποκιού.** Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

- Λιθουργίδης, Α. Σ. και Τσατσαρέλης, Κ. Α.(2003). **Επίδραση καλλιεργητικών τεχνικών στην απόδοση και το ενεργειακό κόστος του επίσπορου αραβοσίτου**. Πρακτικά 3^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Θεσσαλονίκη 2003, σελ 119-123.
- Μπιλάλης, Δ., Σιδηράς, Ν. και Ευθυμιάδης Π. (2000). **Επίδραση τριών συστημάτων εδαφοκατεργασίας σε εδαφικά και φυτικά χαρακτηριστικά σε καλλιέργεια βαμβακιού**. Πρακτικά 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Βόλος 2000, σελ 510-517.
- Τσατσαρέλης, Κ.Α (2000). **Αρχές μηχανικής κατεργασίας του εδάφους και σποράς**. Εκδόσεις Γιαχούδη –Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1. Ξηρή φαινομενική πυκνότητα του εδάφους στις 25/7/03.

Ξηρή φαινομενική πυκνότητα (g/cm3)				
		0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm
Πρόσφατη κατεργασία	Σ	1,20	1,29	1,33
	BK	1,23	1,32	1,35
	ΠΚ	1,26	1,40	1,37
	Δ	1,24	1,38	1,41
	Α	1,32	1,40	1,41
	Σ	1,26	1,36	1,34
Προηγούμενη κατεργασία	BK	1,25	1,33	1,35
	ΠΚ	1,24	1,35	1,34
	Δ	1,22	1,33	1,39
	Α	1,25	1,41	1,44
	Σ	1,25	1,33	1,35
CV (%)		6,23	6,73	5,21
LSD 0.05 για πρόσφατη κατεργασία		0,05	0,06	0,05
LSD 0.05 για προηγούμ. κατεργασία		ns	0.06	0.05
LSD 0.05 για αλληλεπίδραση		ns	ns	ns

Πίνακας 2. Ξηρή φαινομενική πυκνότητα του εδάφους στις 23/10/03.

Ξηρή φαινομενική πυκνότητα (g/cm ³)				
		0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm
Πρόσφατη κατεργασία	Σ	1,33	1,41	1,40
	BK	1,37	1,44	1,42
	ΠΚ	1,39	1,50	1,45
	Δ	1,38	1,50	1,48
	Α	1,43	1,53	1,48
	Σ	1,35	1,44	1,39
Προηγούμενη κατεργασία	Σ	1,38	1,45	1,48
	BK	1,37	1,47	1,45
	ΠΚ	1,41	1,49	1,40
	Δ	1,39	1,50	1,51
	Α			
	Σ			
CV (%)		6,56	6,80	5,84
LSD _{0.05} για πρόσφατη κατεργασία		0,05	0,06	0,05
LSD _{0.05} για προηγούμενη κατεργασία		ns	ns	0,05
LSD _{0.05} για αλληλεπίδραση		ns	ns	ns

Πίνακας 3. Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση σε kPa στις 18/03/03.

		<i>Βάθος (cm)</i>									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
<i>Πρόσφατη κατεργασία</i>	Σ	623	956	1206	1395	1556	1691	1818	1984	2186	2451
	BK	654	957	1221	1441	1640	1838	2094	2253	2461	2670
	ΠΚ	636	916	1296	1663	1936	2200	2428	2732	3005	3253
	Δ	727	1122	1524	1817	2033	2274	2447	2576	2747	2920
	A	685	1045	1417	1766	1990	2206	2500	2665	2941	3141
<i>Προηγούμενη κατεργασία</i>	Σ	766	1149	1463	1718	1937	2125	2327	2461	2635	2829
	BK	630	914	1259	1589	1864	2088	2335	2520	2725	2942
	ΠΚ	629	1036	1436	1742	1947	2172	2333	2510	2743	2955
	Δ	627	1013	1369	1681	1888	2084	2276	2492	2718	2928
	A	673	886	1137	1354	1519	1740	2016	2228	2518	2782

<i>C V (%)</i>	<i>11,7</i>	<i>11,4</i>	<i>10,8</i>	<i>9,1</i>	<i>8,2</i>	<i>8,7</i>	<i>8,8</i>	<i>9,7</i>	<i>10,4</i>	<i>9,4</i>
<i>LSD_{0.05}</i> <i>για</i> <i>πρόσφατη</i> <i>κατεργασία</i>	49,3	71,9	90,9	93	95,4	111,8	125,7	150	175	172
<i>LSD_{0.05}</i> <i>για</i> <i>προηγ.</i> <i>κατεργασία</i>	49,3	71,9	90,9	93	95,4	111,8	125,7	150	ns	ns
<i>LSD_{0.05}</i> <i>για</i> <i>αλληλεπίδρ</i> <i>αση</i>	110,3	ns	203.1	207.9	213.2	250.1	ns	ns	ns	ns

Πίνακας 4. Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση σε kPa στις 9/6/03.

		Βάθος (cm)									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Πρόσφατη κατεργασία	Σ	570	1042	1151	1176	1352	1632	2042	2400	2709	3085
	BK	629	1190	1292	1471	1866	2111	2300	2534	2816	3080
	ΠΚ	912	1602	1823	1945	2063	2215	2430	2617	2882	3153
	Δ	1067	1759	1941	2110	2199	2334	2580	2756	3030	3248
	A	2055	2072	1993	2028	2046	2262	2394	2547	2759	3071
Προηγούμενη κατεργασία	Σ	881	1403	1457	1546	1599	1734	1912	2130	2371	2674
	BK	1006	1470	1494	1523	1707	1870	2160	2317	2572	2803
	ΠΚ	1061	1557	1765	1932	2146	2382	2668	2938	3236	3509
	Δ	1273	1715	1737	1795	1959	2223	2392	2567	2803	3153
	A	1013	1520	1745	1934	2114	2345	2614	2902	3215	3499

CV (%)	30,1	17,6	15,9	13,9	11,4	11,3	10,9	10,9	10,2	8,9
LSD 0.05 για πρόσφατη κατεργασία	198,7	170,1	165,1	153	136,6	150,1	161,2	176,2	182,3	ns
LSD 0.05 για προηγ. κατεργασία	198,7	170,1	165,1	153	136,6	150,1	161,2	176,2	182,3	175,4
LSD 0.05 για αλληλεπίδρ αση	ns	ns	ns	ns	305,3	ns	ns	ns	ns	ns

Πίνακας 5. Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση σε kPa στις 27/10/03.

		<i>Βάθος (cm)</i>							
		5	10	15	20	25	30	35	40
<i>Πρόσφατη κατεργασία</i>	Σ	390	820	1322	1817	2577	3449	4539	5174
	BK	463	1068	1605	2226	2857	3552	4365	4885
	ΠΚ	557	1207	1730	2338	3095	3854	4480	4939
	Δ	543	1276	1881	2520	3289	4042	4704	5172
	A	712	1228	1670	2075	2446	3080	3537	3949
<i>Προηγούμενη κατεργασία</i>	Σ	499	1071	1497	1976	2521	3096	3686	4320
	BK	492	1084	1625	2224	2770	3503	4279	4819
	ΠΚ	561	1128	1621	2206	2884	3794	4661	5140
	Δ	554	1152	1754	2283	3023	3759	4354	4748
	A	559	1163	1712	2287	3064	3827	4646	5093

<i>CV (%)</i>	<i>22,2</i>	<i>14,4</i>	<i>12,9</i>	<i>16,8</i>	<i>17,7</i>	<i>14,7</i>	<i>12,3</i>	<i>9,7</i>
<i>LSD_{0.05} για πρόσφατη κατεργασία</i>	74,5	101,8	133,3	232,9	318	334,1	337,8	295,6
<i>LSD_{0.05} για προηγ. κατεργασία</i>	ns	ns	133,3	ns	318	334,1	337,8	295,6
<i>LSD_{0.05} για αλληλεπίδραση</i>	ns	ns	298	520,8	ns	ns	ns	660,9

Πίνακας 6. Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση σε kPa στις 28/11/03.

		Βάθος (cm)							
		5	10	15	20	25	30	35	40
Πρόσφατη κατεργασία	Σ	1063	1682	2219	2777	3442	4172	4951	5566
	BK	1057	1730	2322	2944	3528	4171	4854	5393
	ΠΚ	1078	1959	2550	3054	3456	4069	4659	5257
	Δ	1113	1930	2584	3139	3606	4209	4892	5500
	A	1052	1791	2345	2869	3316	3802	4374	4935
Προηγούμενη κατεργασία	Σ	838	1522	2037	2522	2916	3412	3906	4453
	BK	999	1748	2349	2796	3327	3945	4488	5209
	ΠΚ	1321	2047	2670	3287	3916	4717	5709	6475
	Δ	1095	1902	2535	3161	3559	4076	4626	5136
	A	1112	1874	2429	3016	3628	4273	5002	5380

CV (%)	18,8	13,5	12,3	11,9	11,7	13,3	13,1	13,9
LSD 0.05 για πρόσφατη κατεργασία	ns	154,5	186,6	221,3	ns	ns	391,8	ns
LSD 0.05 για προηγ. κατεργασία	127,2	154,5	186,6	221,3	255,8	343,2	391,8	468,7
LSD 0.05 για αλληλεπίδραση	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Πίνακας 7. Πληθυσμός και βιομάζα γαιοσκωλήκων.

<i>Κατεργασία</i>	<i>Πληθυσμός γαιοσκωλήκων /m²</i>	<i>Βιομάζα γαιοσκωλήκων (g/m²)</i>
<i>Συμβατική (Σ)</i>	26	4,1
<i>Βαρύς καλλιεργητής (BK)</i>	84	20,4
<i>Περιστροφικό σκαπτικό (ΠΚ)</i>	53	12,9
<i>Δισκοσβάρνα (Δ)</i>	76	19,4
<i>Ακαλλιέργεια (Α)</i>	107	31,7
LSD _{0.05}	48,7	ns

Πίνακας 8. Εξέλιξη του φυτρώματος των τεύτλων

		Φύτρωμα (φυτά/μ)				
		28/5/03	1/6/03	5/6/03	9/6/03	13/6/03
Πρόσφατη κατεργασία	Σ	3,10	5,53	7,05	8,35	8,73
	BK	5,03	7,03	8,13	9,25	9,78
	ΠΚ	5,30	7,00	7,60	7,85	7,98
	Δ	5,05	7,00	7,50	8,10	8,48
	Α	4,00	6,00	6,63	7,60	7,79
Προηγούμενη κατεργασία	Σ	4,95	7,45	8,78	9,70	10,25
	BK	4,68	7,13	7,85	8,45	8,73
	ΠΚ	3,65	5,78	6,48	7,10	7,49
	Δ	4,30	6,20	6,80	7,85	7,98
	Α	4,90	6,00	7,10	8,05	8,30

<i>CV (%)</i>	<i>37,12</i>	<i>24,76</i>	<i>19,75</i>	<i>16,64</i>	<i>15,59</i>
<i>LSD_{0.05} για πρόσφατη κατεργασία</i>	1,05	1,02	0,92	0,86	0,84
<i>LSD_{0.05} για προηγούμενη κατεργασία</i>	ns	1,02	0,92	0,86	0,84
<i>LSD_{0.05} για σλληλεπίδραση</i>	ns	ns	ns	ns	ns

Πίνακας 9. Απόδοση των τεύτλων, βάρος ριζών και βάρος κορυφών, σε t/στρ.

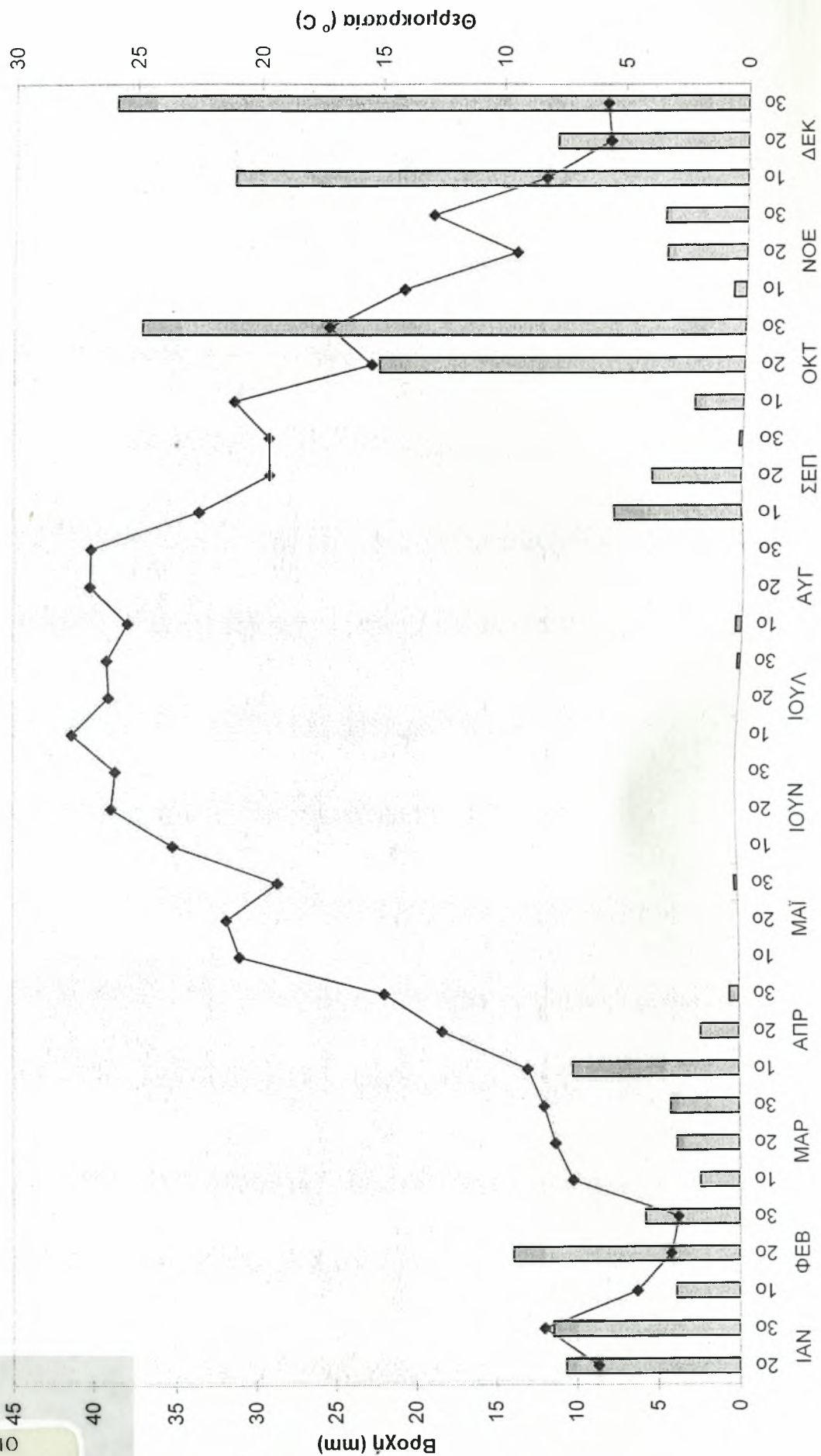
<i>Απόδοση (t/στρ.)</i>			
		Βάρος ριζών	Βάρος κορυφών
<i>Πρόσφατη κατεργασία</i>	Σ	7,86	2,42
	BK	7,58	2,25
	ΠΚ	5,84	1,86
	Δ	6,03	1,93
	A	5,73	1,78
<i>Προηγούμενη κατεργασία</i>	Σ	7,91	2,47
	BK	7,39	2,29
	ΠΚ	5,71	1,61
	Δ	6,19	2,08
	A	5,95	1,81

<i>CV (%)</i>	<i>12,42</i>	<i>14,75</i>
<i>LSD_{0.05} για πρόσφατη κατεργασία</i>	0,52	0,19
<i>LSD_{0.05} για προηγούμενη κατεργασία</i>	0,52	0,19
<i>LSD_{0.05} για αλληλεπίδραση</i>	1,16	0,43

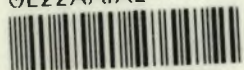


ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΤΟΥΣ 2003

Βροχή
Θερμοκρασία



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000074271